



# RECURSOS RENOVÁVEIS

**ESTEVÃO FREIRE**

[estevao@eq.ufrj.br](mailto:estevao@eq.ufrj.br)

DEPARTAMENTO DE PROCESSOS ORGÂNICOS  
ESCOLA DE QUÍMICA - UFRJ



Recursos renováveis

X



Recursos não renováveis



Por que recursos  
renováveis?

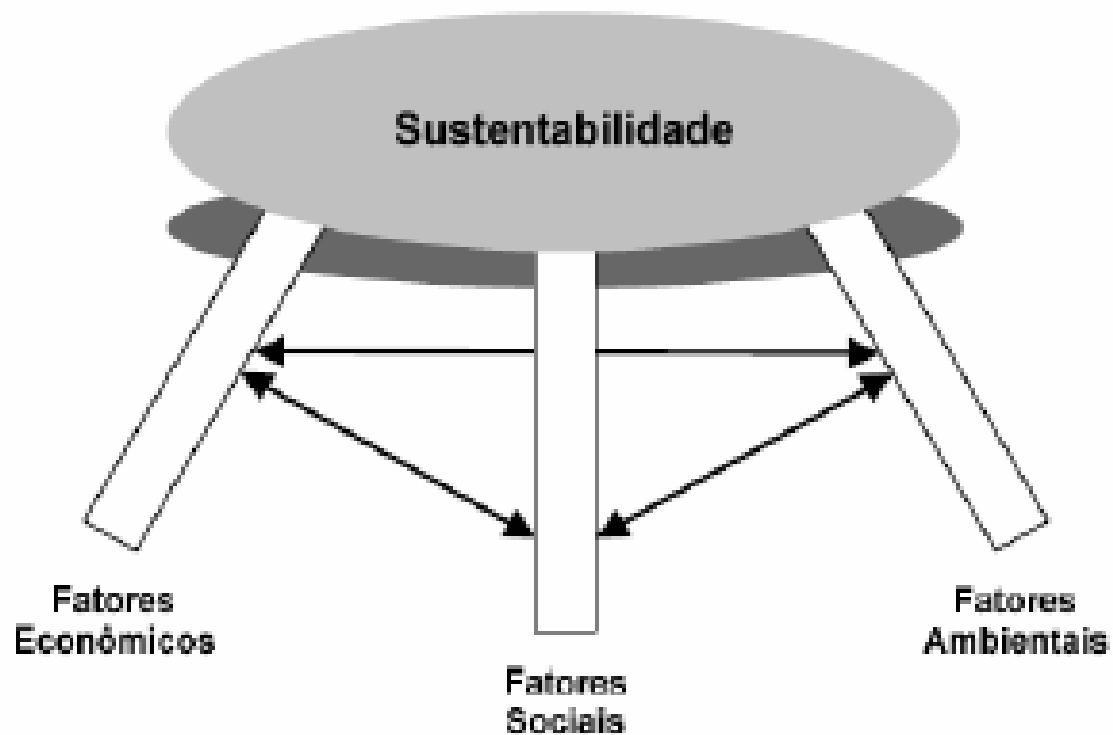



FIGURA: O Delta da Sustentabilidade. Fonte: KATHOUNIAN, C. A.: A reconstrução ecológica da agricultura; Botucatu: Agroecológica; 2001 apud KAMIYA, D. S.: Análise Emergética on line para Diagnóstico de Sistemas Agrícolas; Dissertação de Mestrado; Campinas; 2005.



# Desenvolvimento sustentável

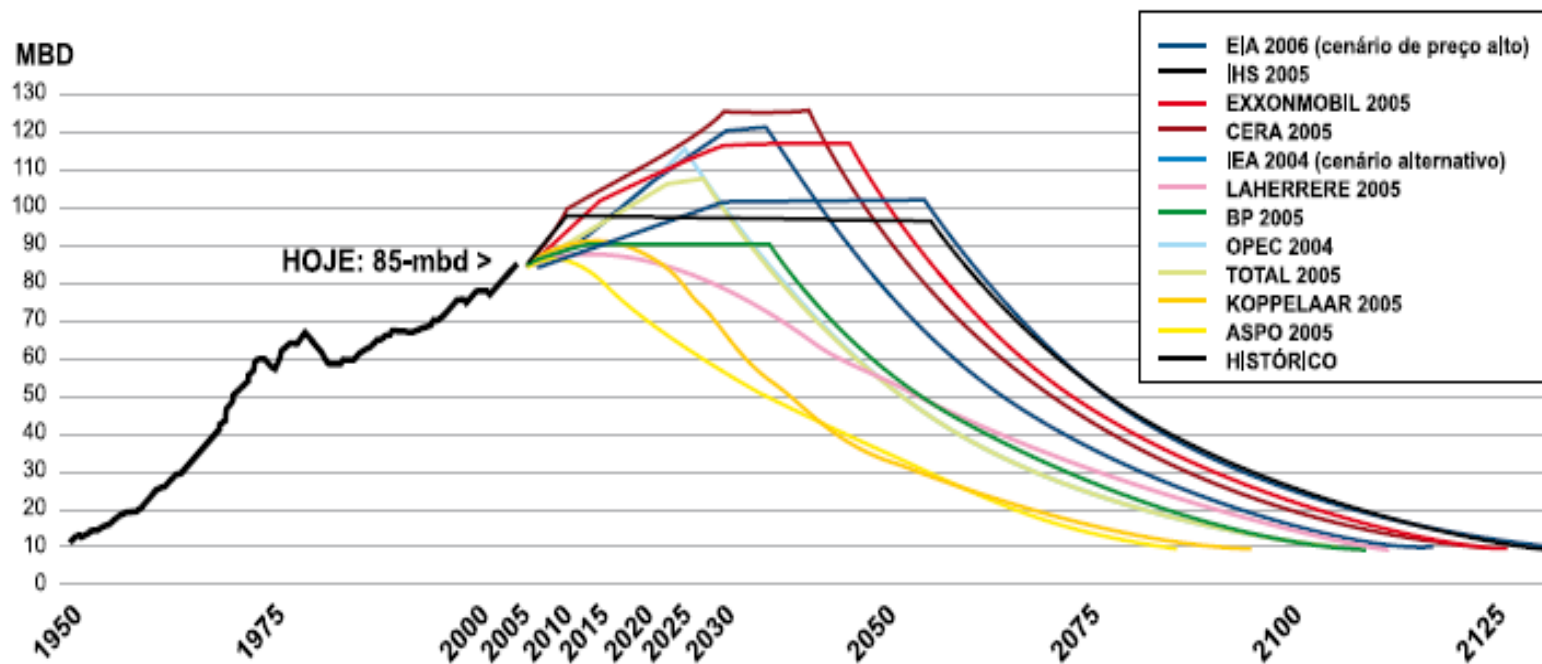
- “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”.
- 



**Pode existir sustentabilidade  
sem **inovação**?**

- **Química verde** pode ser definida como o desenho, desenvolvimento e implementação de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente.
- (Tundo, P.; Anastas, P.; Black, D. S.; Breen, J.; Collins, T.; Memoli, S.; Myiamoto, J.; Polyakoff, M.; Tumas, W.; *Pure Appl. Chem.* **2000**, **72**, **1207**).
- Este conceito vem sendo gradativamente incorporado ao meio acadêmico, no ensino e pesquisa.

# Projeção da produção de petróleo



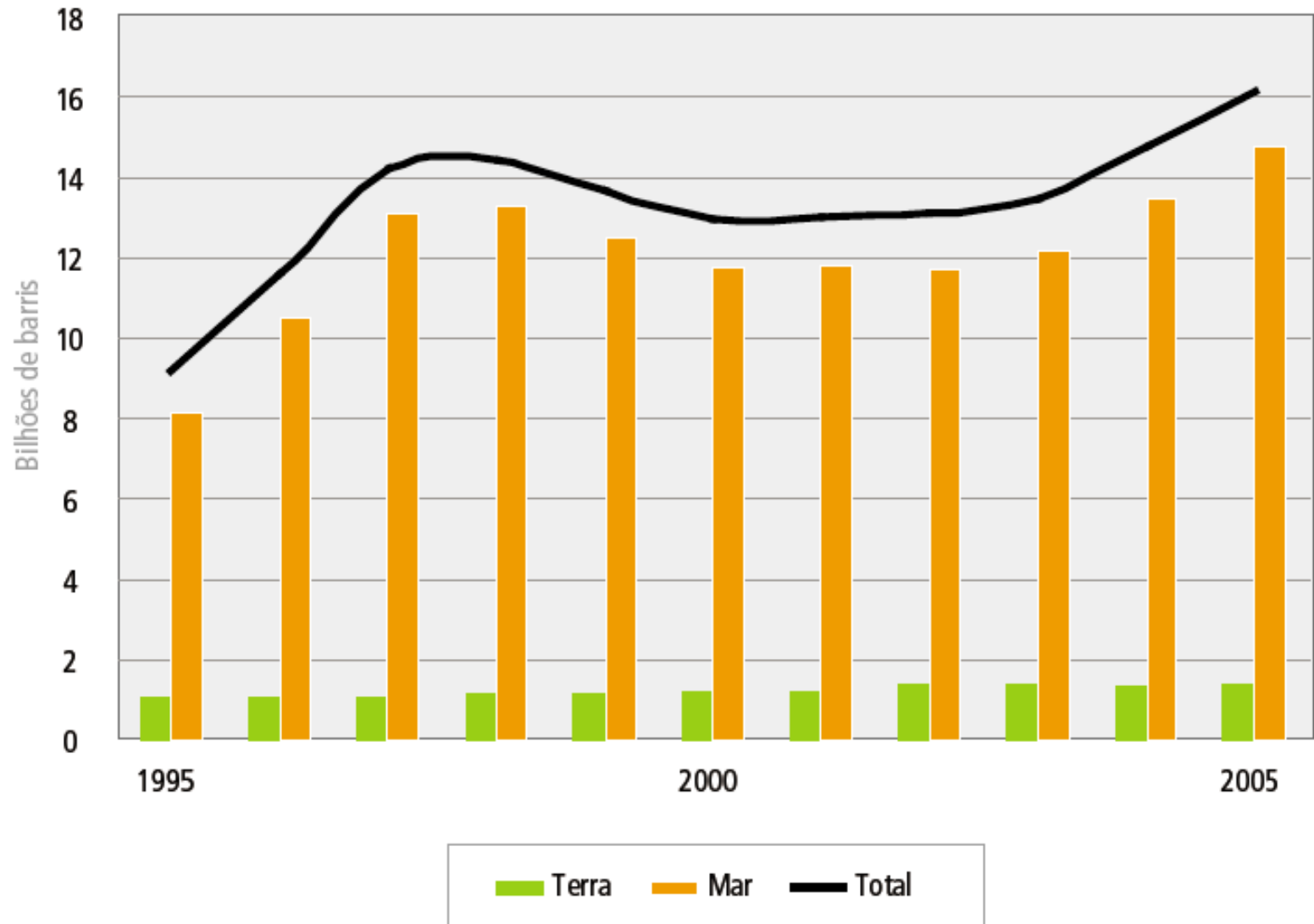
Fonte: Freddy Hutter – [www.trendlines.ca](http://www.trendlines.ca)

<sup>3</sup> Citado em *The Economist*, 12/8/2006, página 55.

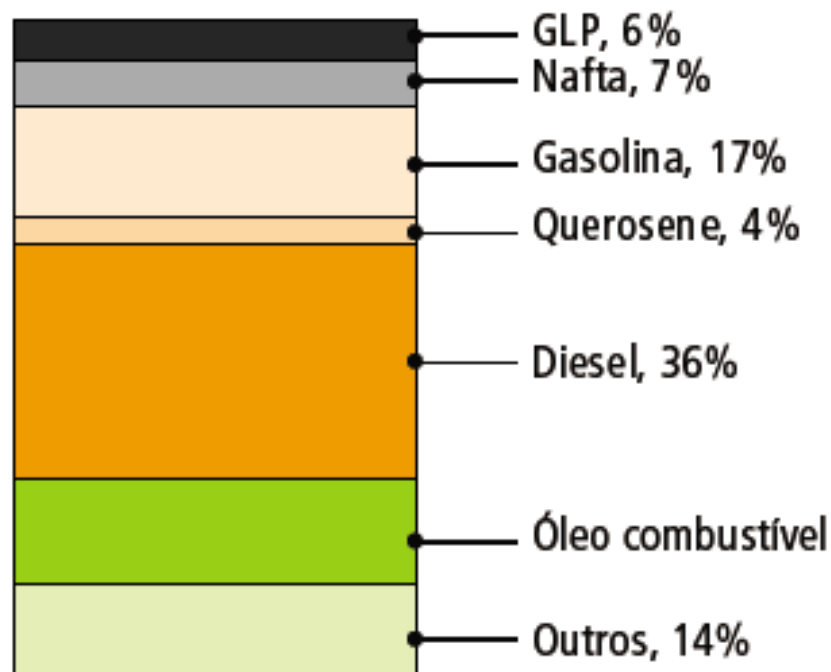
<sup>4</sup> Ver, por exemplo, [www.hubbertpeak.com](http://www.hubbertpeak.com) e [www.trendlines.ca](http://www.trendlines.ca)



# Evolução das reservas totais de petróleo no Brasil (em bilhões de barris)

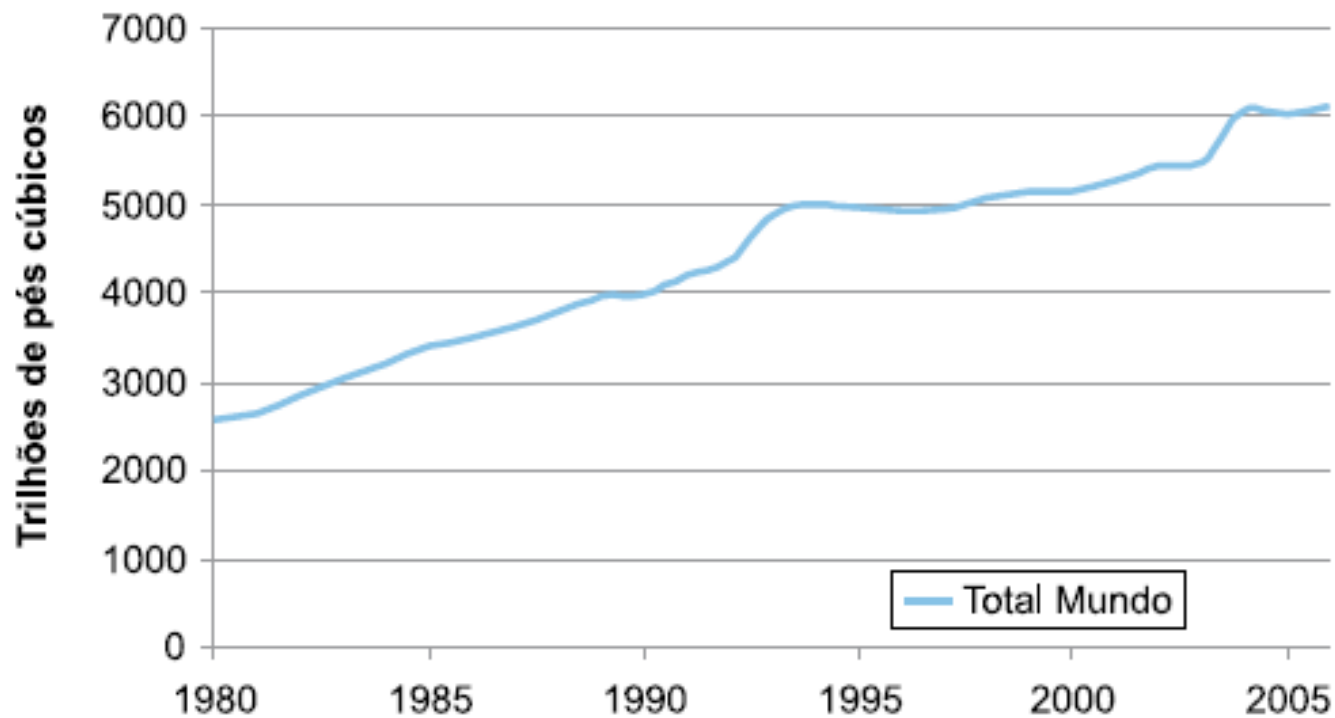


# Estrutura da produção de derivados do refino nacional



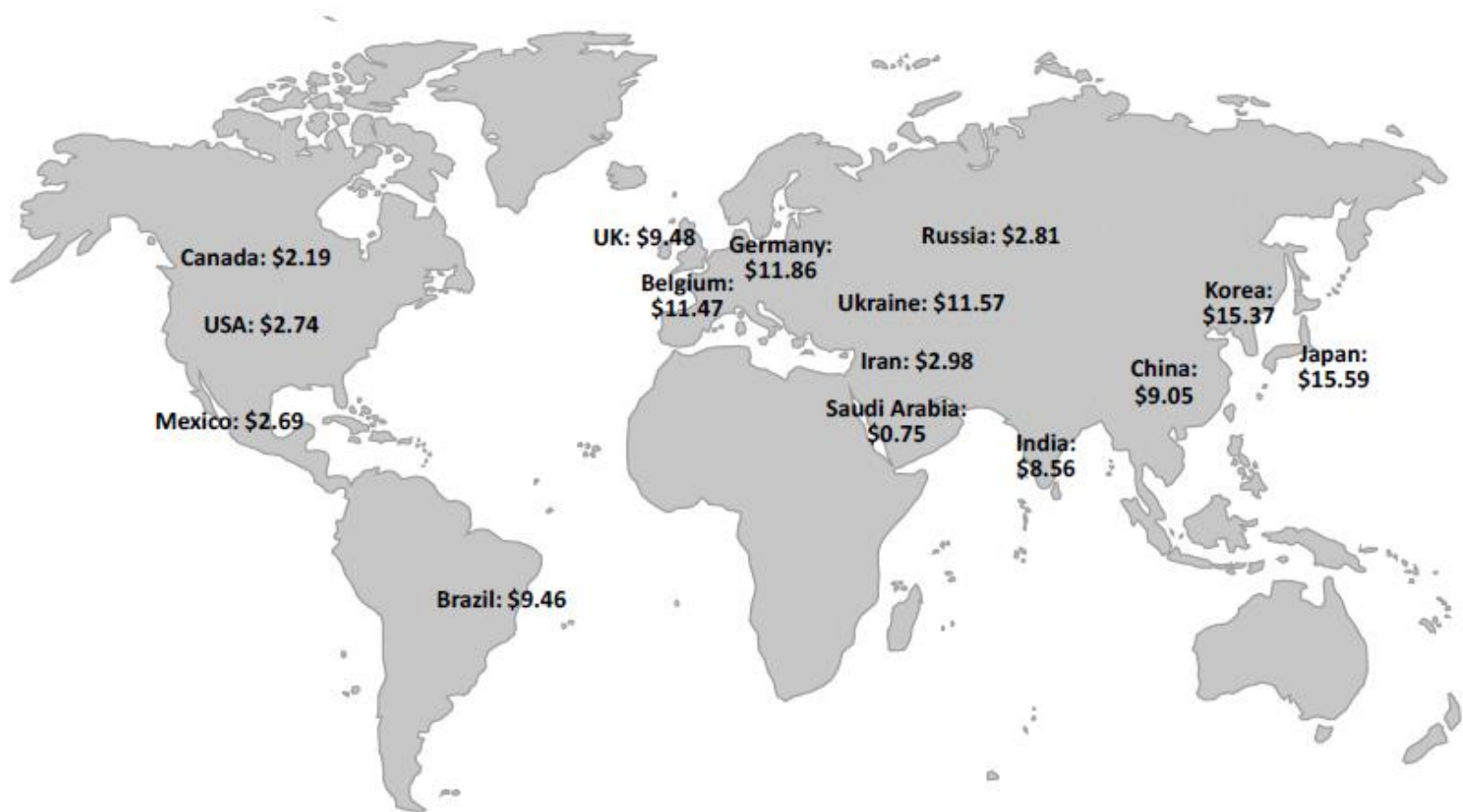
Fonte: ANP (2005).

# Reservas de gás natural 1980-2005

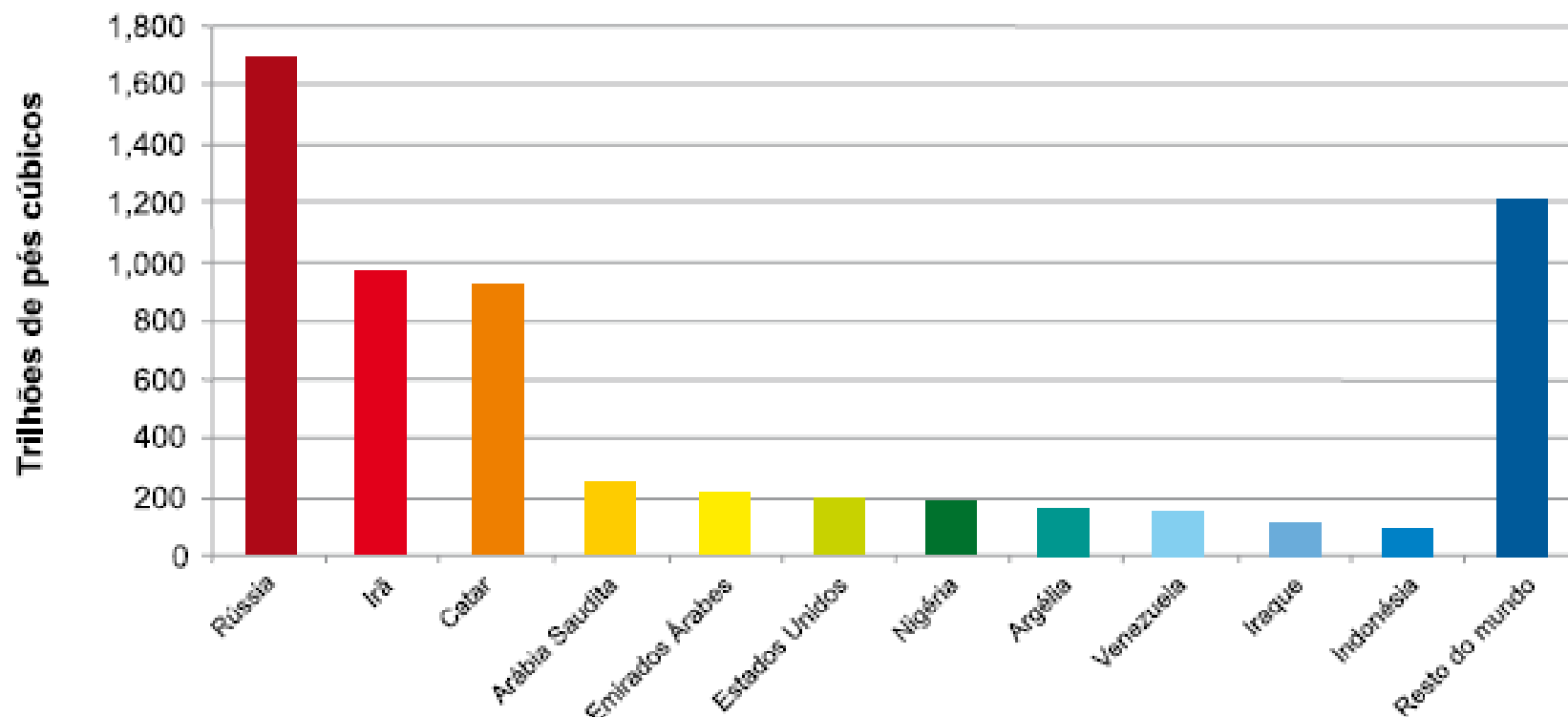


Fonte: BP, 2006

**AVERAGE 2012 NATURAL GAS PRICES BY NATION**  
(\$ per million BTUs)

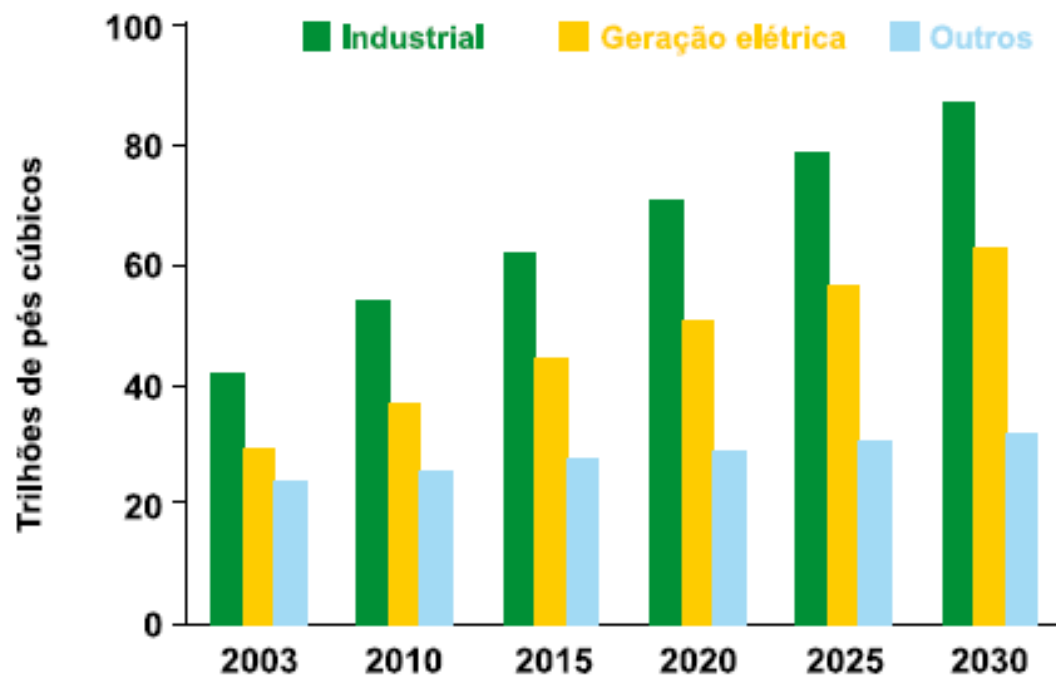


# Reservas mundiais de gás natural



Fonte: BP, 2006

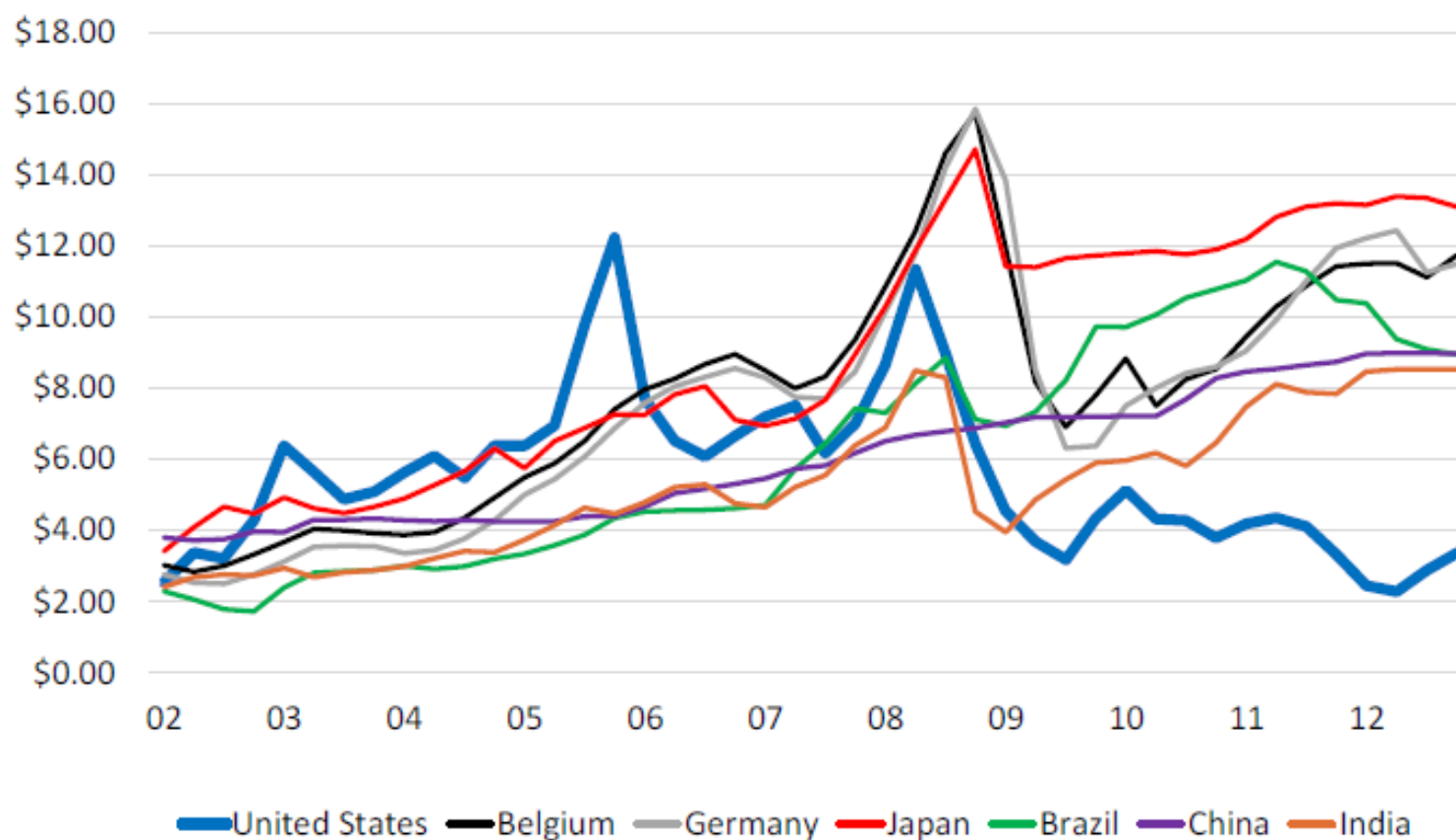
## Evolução do consumo mundial de gás natural por segmento



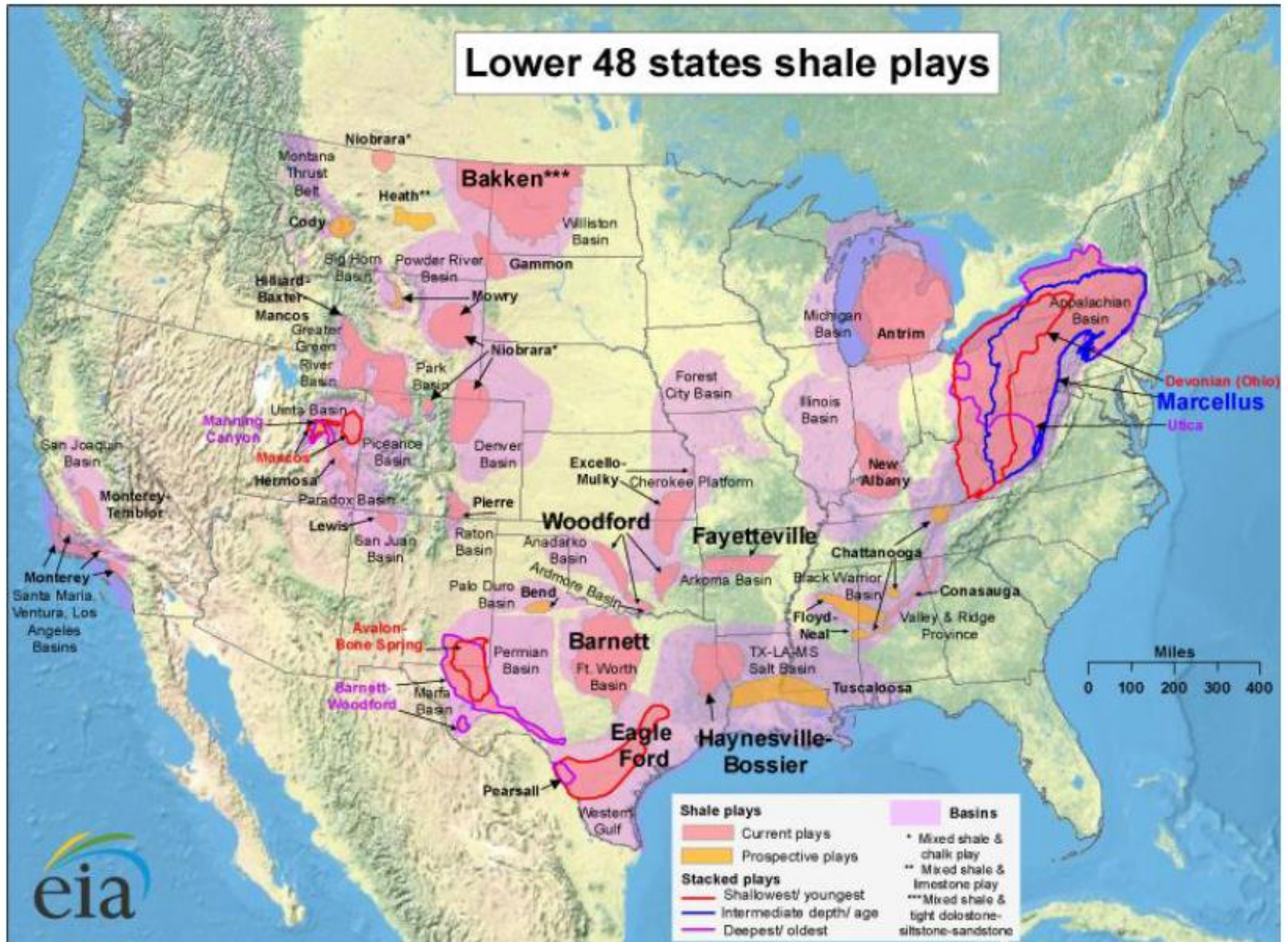
Fonte: BP, 2006

## TRENDS IN NATURAL GAS PRICES ACROSS THE WORLD

\$ per million BTUs




# Lower 48 states shale plays



Source: Energy Information Administration based on data from various published studies.  
Updated: May 9, 2011



- 
- Gás não-convencional: *boom da produção nos EUA, questões ambientais ainda não resolvidas em alguns estados (Brasil: mapeamento do potencial e descobertas incipientes)*
  - Estrutura de produção, importação, transporte e comercialização de gás natural extremamente concentrada na Petrobras e suas subsidiárias (instrumento de implantação da política energética do Governo Federal)

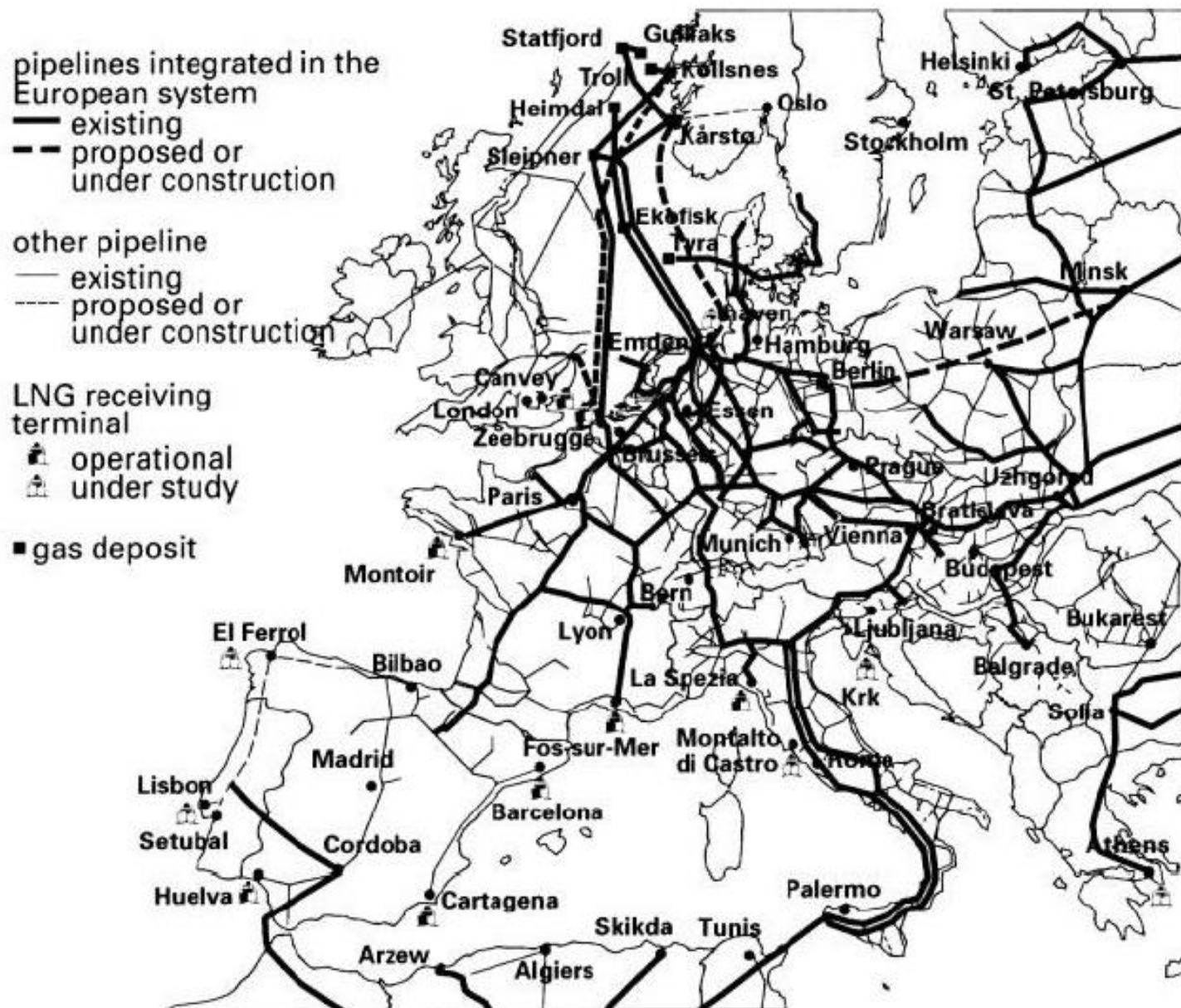


Figure 28. European natural gas transmission system



**anp**  
Agência Nacional  
do Petróleo,  
Gás Natural e Biocombustíveis

## Infraestrutura de Transporte (2007)

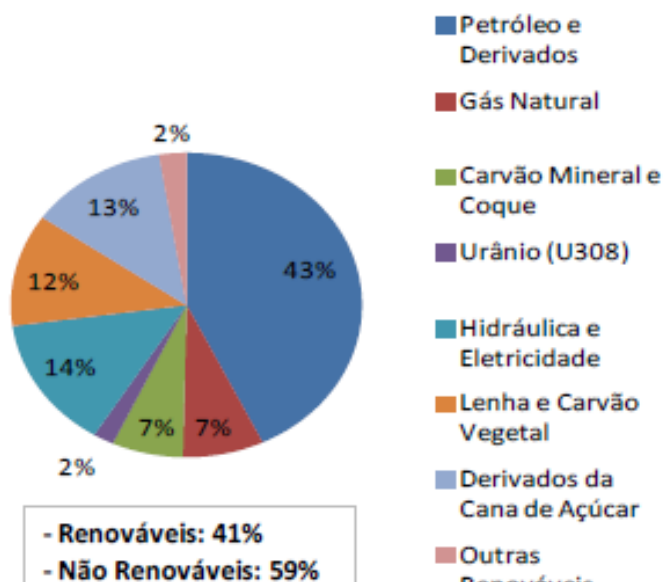
5.794 km de gasodutos de transporte



Fonte: ANP e Petrobras

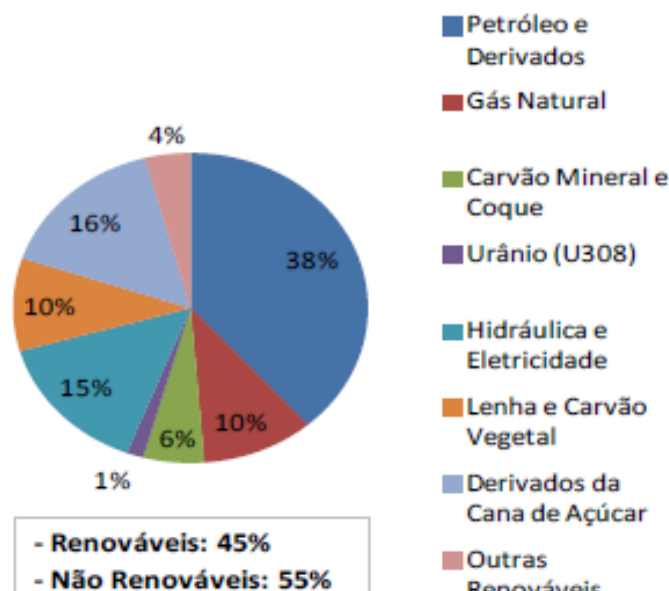
# Brasil

Participação na Matriz Energética  
2002 (%)



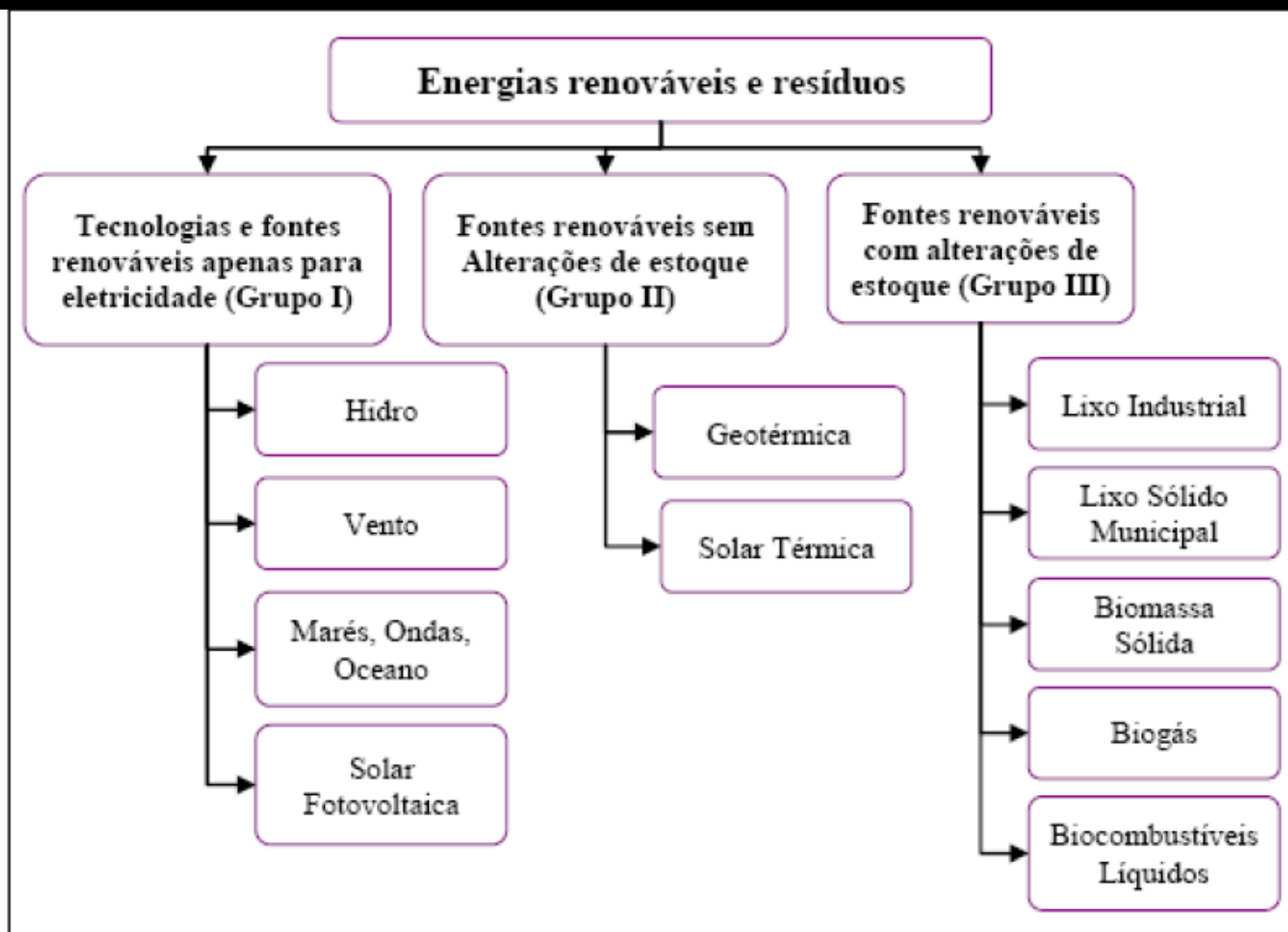
- Participação do gás natural na matriz energética subiu de 7% em 2002 para 10% em 2008, mantendo-se neste patamar até 2011

Participação na Matriz Energética  
2011 (%)



- Recursos renováveis - energias renováveis!
  - Produção biológica de hidrogênio;
  - Biogás;
  - Energia eólica;
  - Energia solar fotovoltaica;
  - Energia hidráulica.

# Classificação de energias renováveis e resíduos



Fonte: Energy Statistics Manual - IEA (2005)

# Brasil

## Principais números em energia


Capacidade em energia renovável - 2009	9.1 GW
Capacidade de eletricidade renovável como % da capacidade total de geração	9.8%
Taxa de crescimento quinquenal de energia renovável	13.9%
Principais setores de energia renovável	Etanol, biomassa, hidroelétricas
Investimento nacional em energia limpa - 2009	US\$ 7,4 bilhões

Fonte: Pew Charitable Trusts (2010)






# Energia eólica


- É a energia contida nos ventos (nas massas de ar em movimento).
  - O uso dessa energia é uma tendência mundial por ser caracterizado como uma forma de energia com poucos impactos, que contribui para a preservação do meio ambiente.
  - Não requer água para sua produção, um recurso cada vez mais escasso, e também não gera gases de efeito estufa.
  - No município de Macau, no Rio Grande do Norte, está localizada a primeira unidade piloto, instalada em janeiro de 2004, com potência instalada de 1,8MW (3 aerogeradores de 600Kw cada). A usina gera energia capaz de abastecer uma cidade de 10 mil habitantes.
- 





# Biodiesel

- O programa atual originou-se do Decreto Presidencial de 02/07/2003, que criou um Grupo de Trabalho para estudar a viabilidade de utilização de biodiesel.
  - Em 23/12/2003 outro Decreto Presidencial estabeleceu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), gerido por uma Comissão Executiva Interministerial.
- 

- 
- O agronegócio da soja gera empregos diretos para 4,7 milhões de pessoas em diversos segmentos, de insumos, produção, transporte, processamento e distribuição, e nas cadeias produtivas de suínos e aves.
  - Trata-se de uma produção de 52 milhões de toneladas em 20 milhões de hectares, no total, diretos e indiretos, quatro hectares por pessoa.

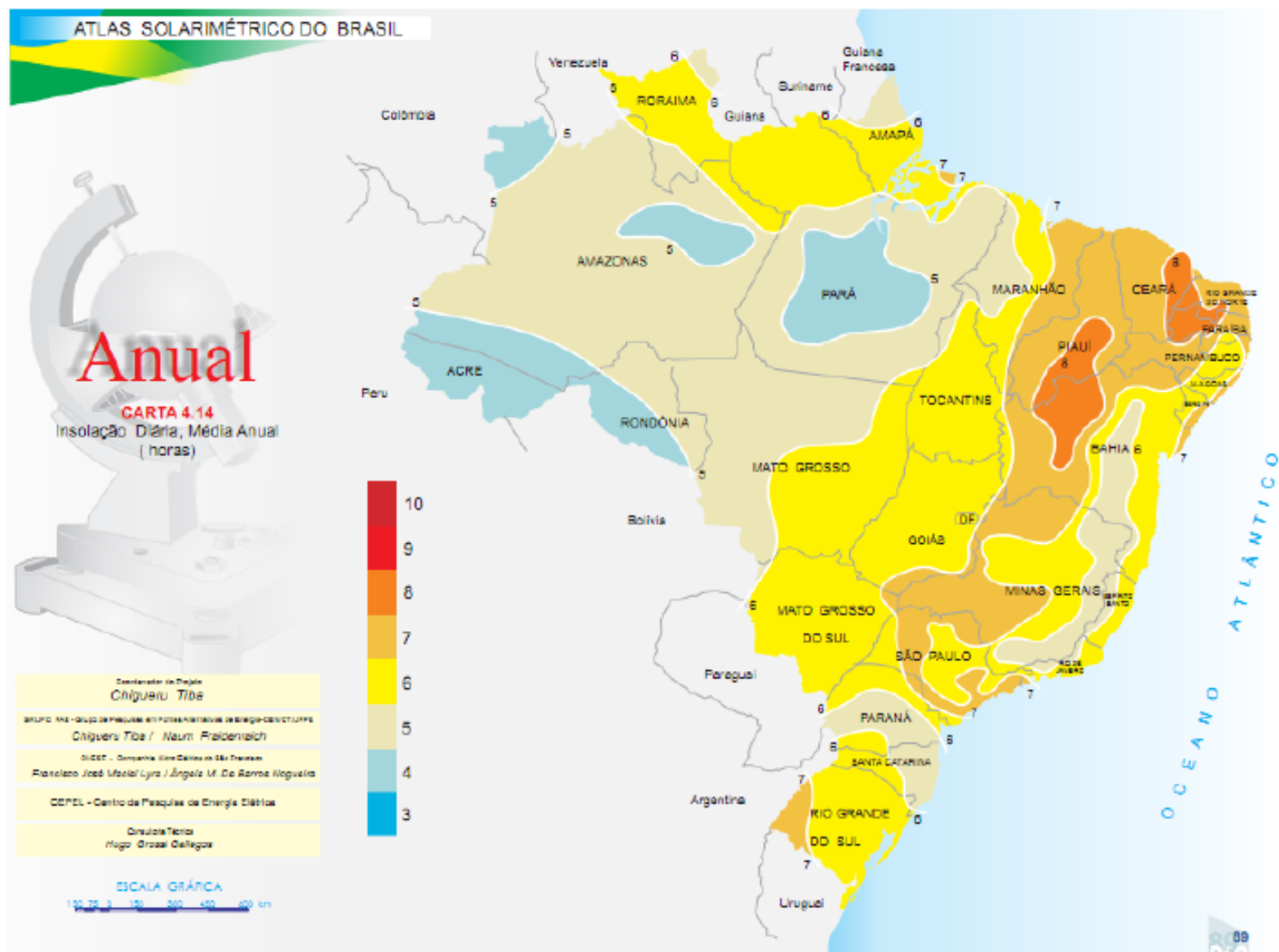


Figura 1.25 Insolação Diária (Média anual em horas).

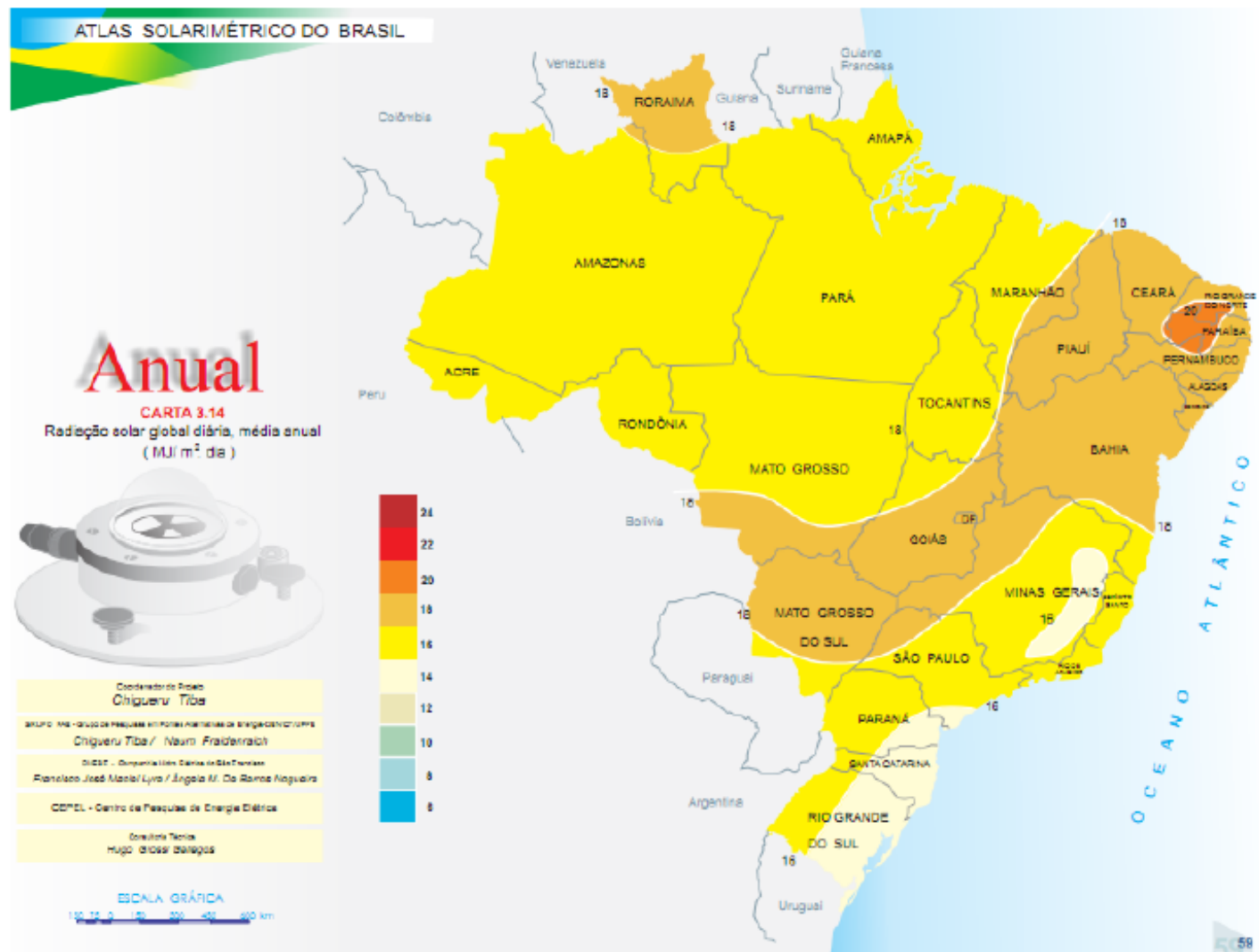


Figura 1.24 Radiação solar diária (média anual em MJ/m<sup>2</sup>/dia) <sup>33</sup>

Se **TODA** energia incidente pudesse ser captada e convertida em eletricidade, com 1 m<sup>2</sup> de coletor seria possível obter a energia consumida em uma residência com consumo mensal de 150 kWh.




Painel solar



Impacto visual de uma Estação Eólica nos montes Tehachapi, na Califórnia

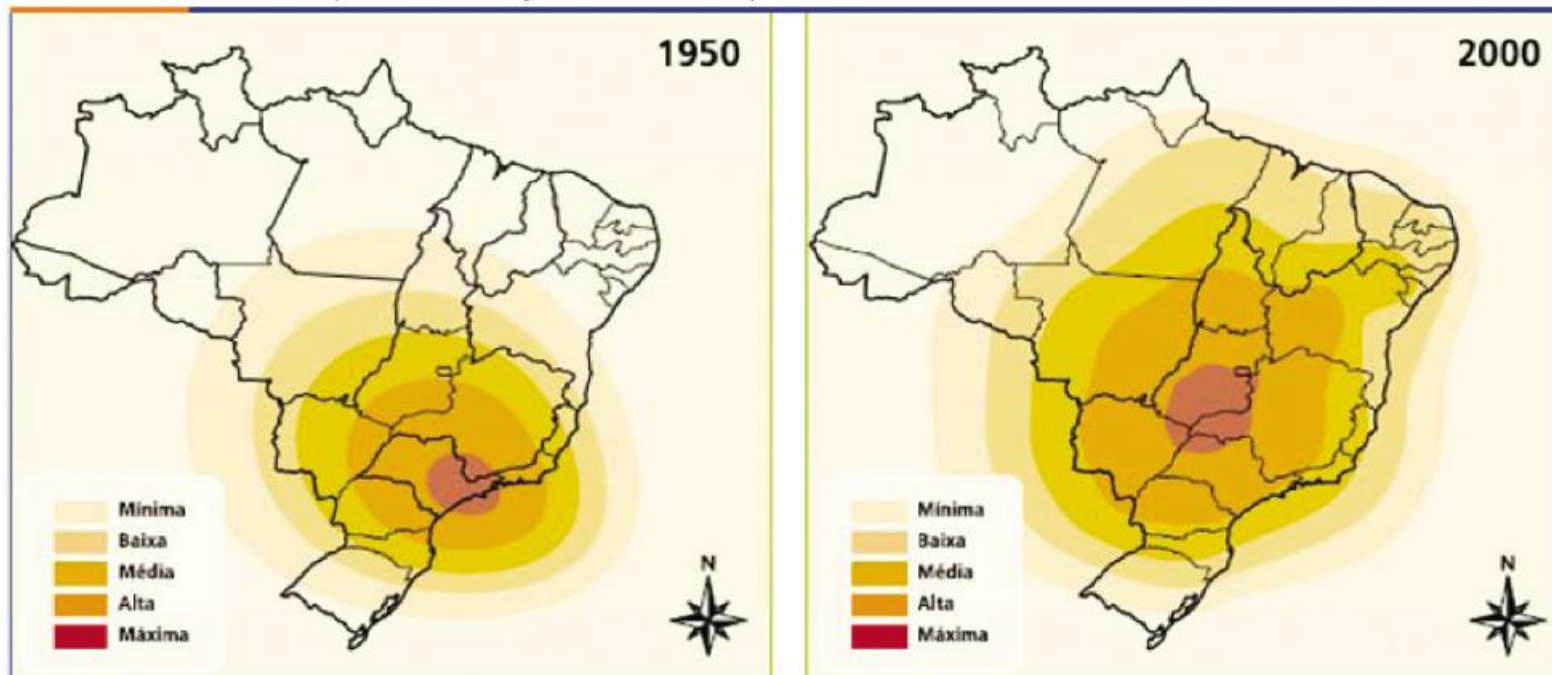


# Hidroeletricidade



- Atualmente, cerca de um quinto da eletricidade mundial é produzida por energia hidrelétrica.
  - Contudo, grandes usinas hidrelétricas com barragens de concreto e grandes lagos coletores acarretam sérios impactos negativos para o meio ambiente como a inundação de áreas habitáveis.
  - Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), que são turbinas impulsionadas por uma seção de água corrente em um rio, podem produzir eletricidade de modo ambientalmente sustentável (GREENPEACE & EREC, 2007).
- 

# Hidroeletricidade



Figura 1-1 - Evolução Territorial do Aproveitamento do Potencial Hidrelétrico Brasileiro



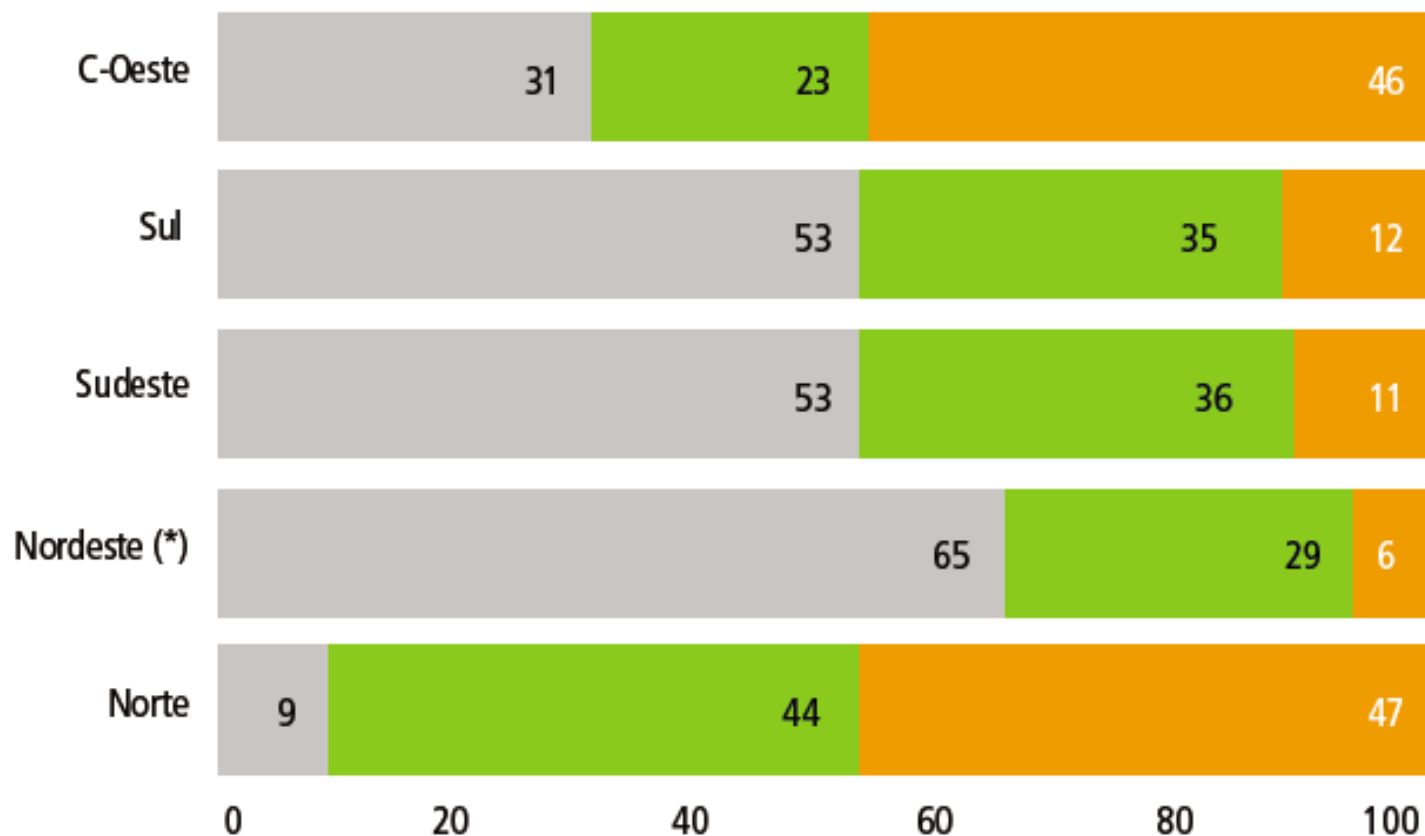
Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil ANEEL (2002).

- 
- 
- A contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional, segundo o Balanço Energético Nacional (2003), é da ordem de 14%, participando com quase 83% de toda a energia elétrica gerada no País.
  - Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil.



- 
- 
- Segundo a edição 2007 do *International Energy Outlook* dos Estados Unidos a geração hidroelétrica e outras fontes renováveis crescerão cerca de 56% nos próximos 24 anos.
  - A geração hidroelétrica atualmente é responsável por cerca 19% da oferta elétrica mundial, sendo a oferta de outras energias renováveis ainda diminuta.
  - É claro, portanto que a energia de origem hidroelétrica continuará a ser uma importante fonte renovável no futuro.

## Aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro por região (%)

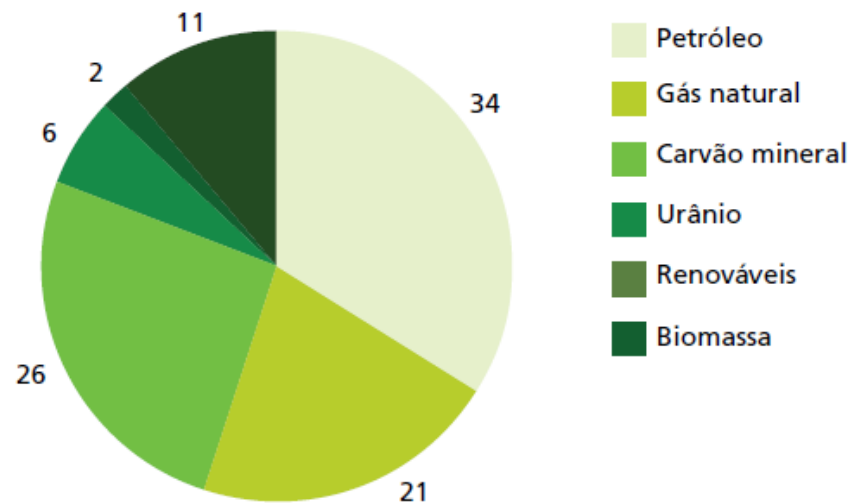


(\*) exclusive unidades de ponta

- Operação/Construção/Concessão
- Não aproveitado: inventariado
- Não aproveitado: estimado

## Matriz energética mundial – 2006

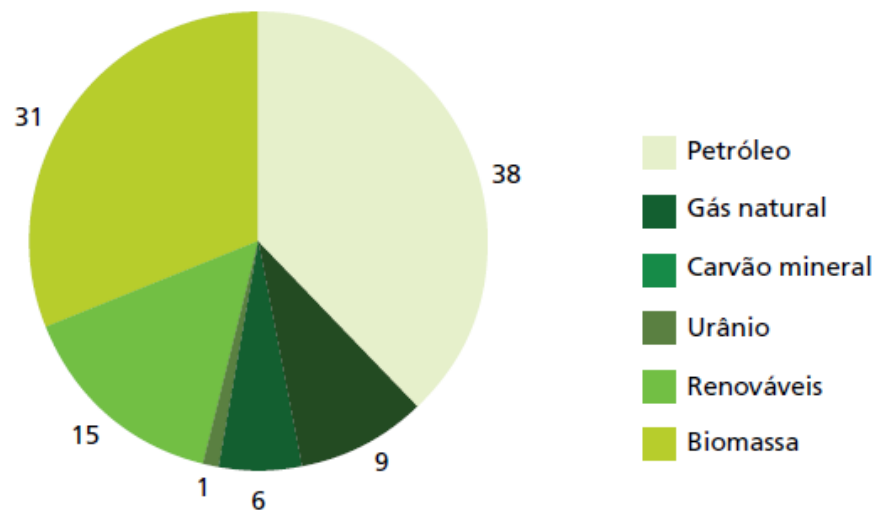
(Em %)



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2008.

## Matriz energética brasileira – 2007

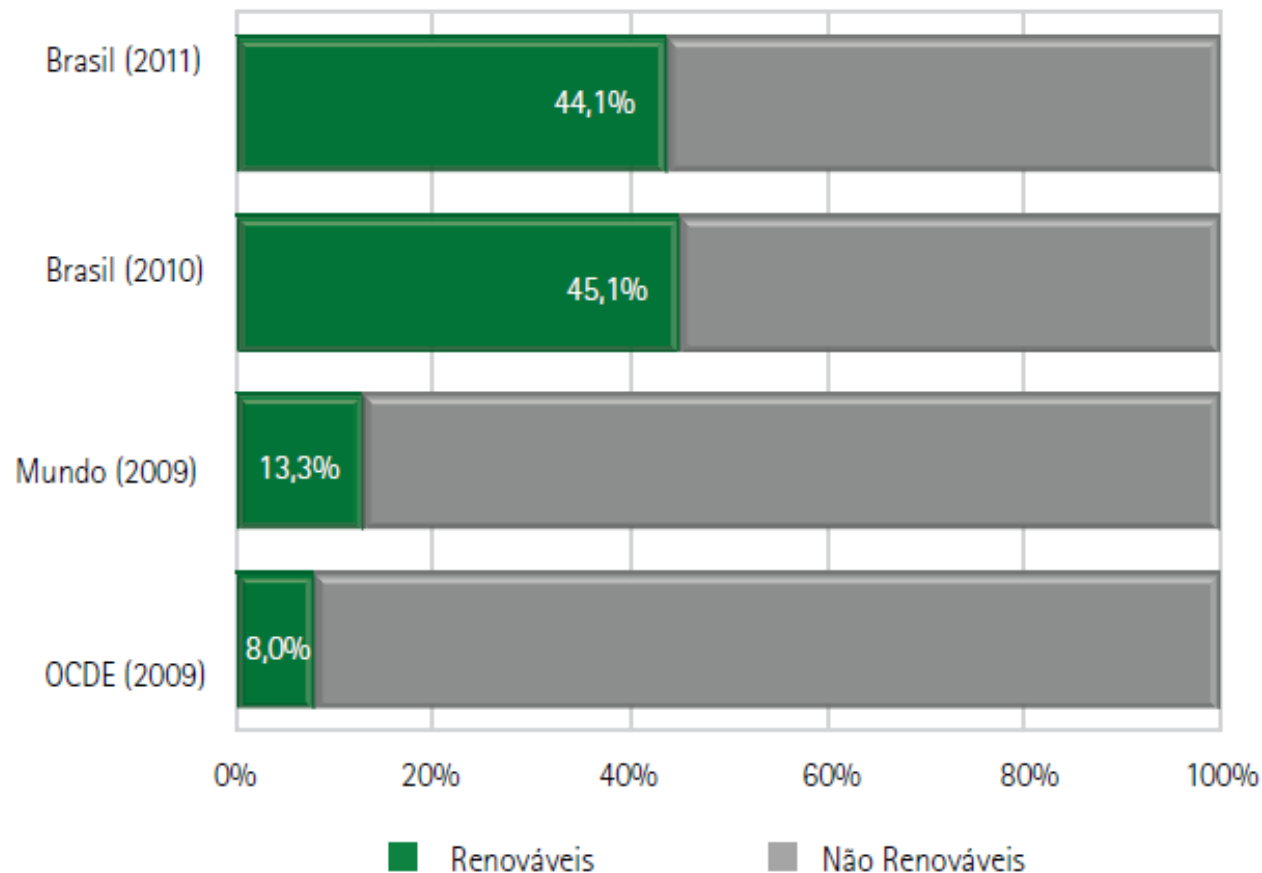
(Em %)



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2008.

## Participação de renováveis na matriz energética

Em 2011, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de etanol



## Repartição da oferta interna de energia

### RENOVÁVEIS ► 44,1%

biomassa da cana  
15,7%



hidráulica e eletricidade  
14,7%



lenha e carvão vegetal  
9,7%



lixívia e outras renováveis  
4,1%



### NÃO RENOVÁVEIS ► 55,9%

petróleo e derivados  
38,6%



gás natural  
10,1%



carvão mineral  
5,6%



urânio  
1,5%



Tabela 46 - Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural  
Brasil (10<sup>6</sup> t/ano)

	2005	2010	2015	2020	2030
<b>Total</b>	<b>558</b>	<b>731</b>	<b>898</b>	<b>1.058</b>	<b>1.402</b>
<b>Resíduos agrícolas</b>	<b>478</b>	<b>633</b>	<b>768</b>	<b>904</b>	<b>1.196</b>
Soja	185	251	302	359	482
Milho	176	251	304	361	485
Arroz (palha)	57	59	62	66	69
Cana-de-açúcar (palha)	60	73	100	119	160
<b>Resíduos agroindustriais</b>	<b>80</b>	<b>98</b>	<b>130</b>	<b>154</b>	<b>207</b>
Cana-de-açúcar (bagaço)	58	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	2	3	3	3
Lixívia <sup>(1)</sup>	13	17	21	25	34
Madeira <sup>(2)</sup>	6	8	10	12	16
<b>Florestas energéticas</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>43</b>	<b>46</b>
Madeira excedente <sup>(3)</sup>	13	30	31	43	46

Notas: (1) Licor Negro com concentração entre 75 e 80 % de sólidos secos

(2) Resíduos de madeira da indústria de celulose: lenha, resíduos de madeira e cascas de árvore.

(3) Representa a diferença entre a quantificação teórica da produção potencial nas áreas ocupadas pela silvicultura e o consumo de madeira em tora para uso industrial oriundo de florestas plantadas.



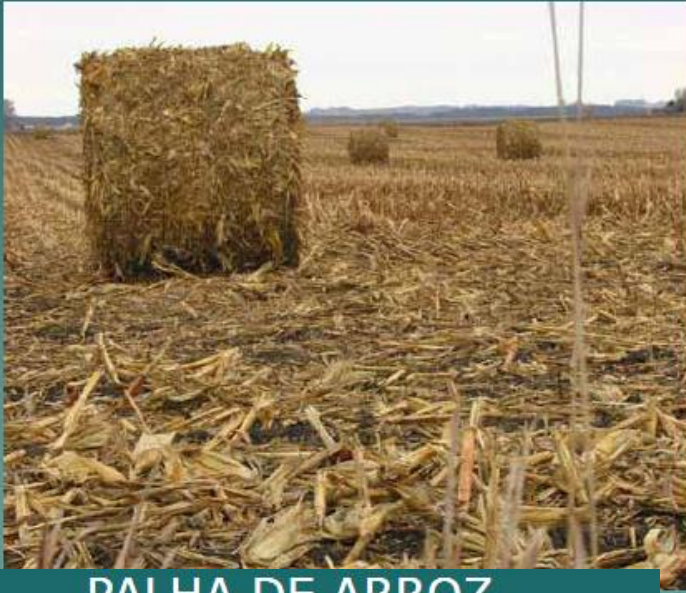
- O Brasil se encontra em uma posição privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas:
  - possui a maior biodiversidade do planeta;
  - possui intensa radiação solar;
  - possui água em abundância;
  - apresenta diversidade de clima e pioneirismo na produção de bicom bustíveis da biomassa em larga escala, com destaque para a indústria canavieira, o etanol.

# O que são biomassas?

- resíduos agroflorestais - oriundos de matérias-primas de **origem florestal** que não sofreram processamento industrial - exemplo: raspas de madeira;
- resíduos agrícolas - oriundos de matérias-primas **agrícolas** que não sofreram processamento industrial - resíduos de colheitas, tais como palhas de cana e de arroz;
- resíduos agroindustriais - são aqueles oriundos de matérias-primas que sofreram processamento industrial (matéria-prima processada). Exemplos: bagaço de cana, sabugo de milho, etc...



## RESÍDUOS DE MILHO (CORNSTOVER)



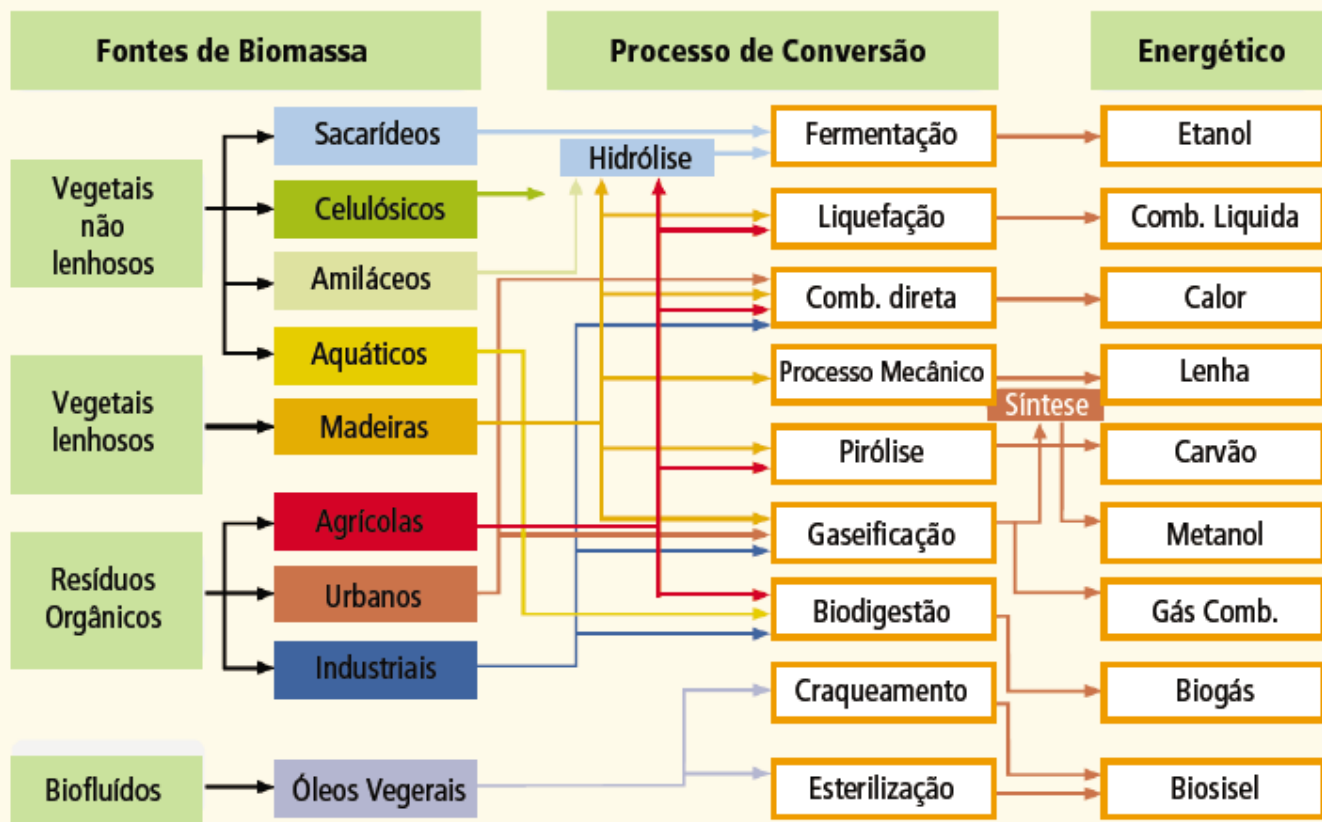
PALHA DE ARROZ



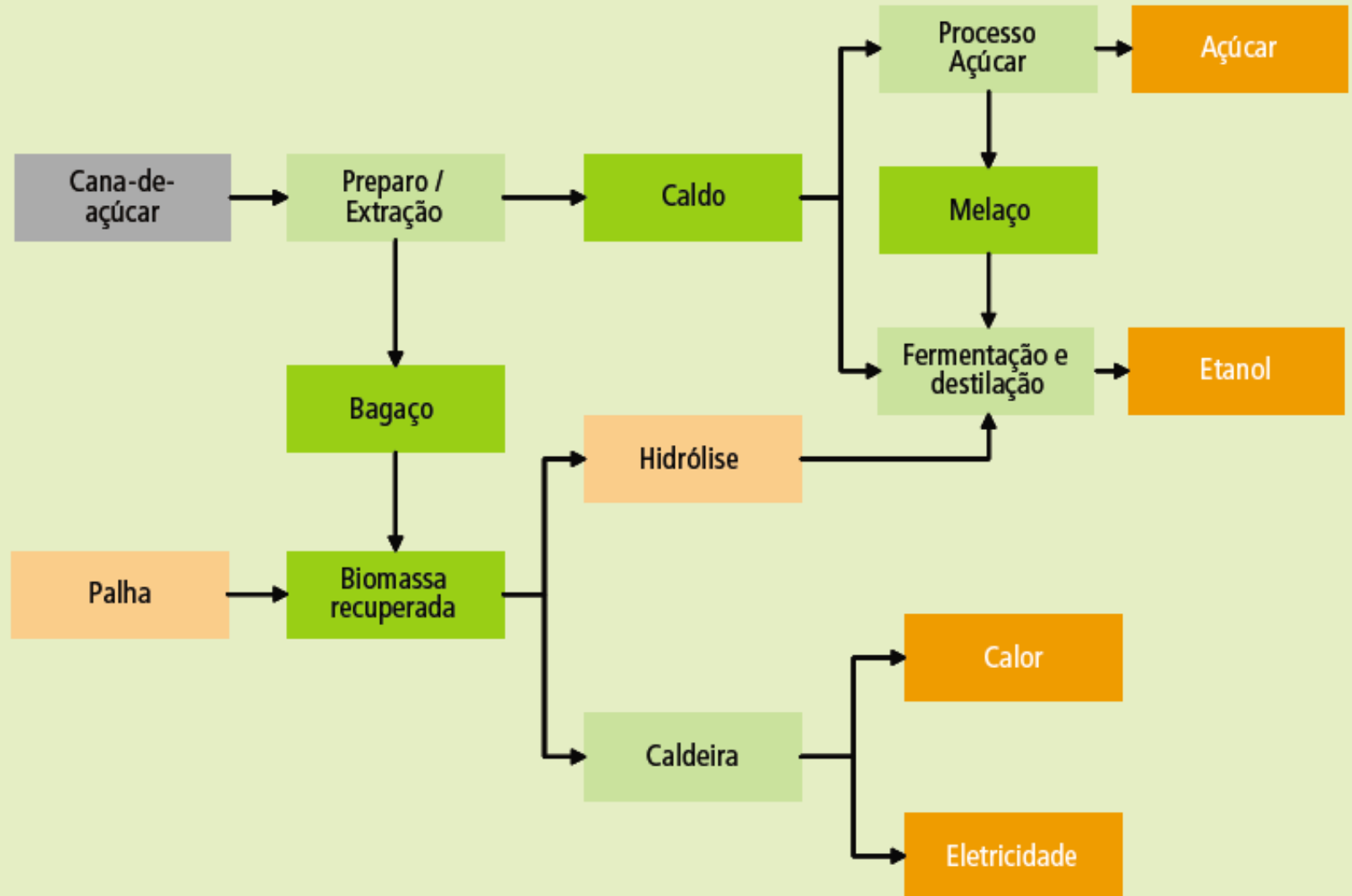
## CASCA DE ARROZ



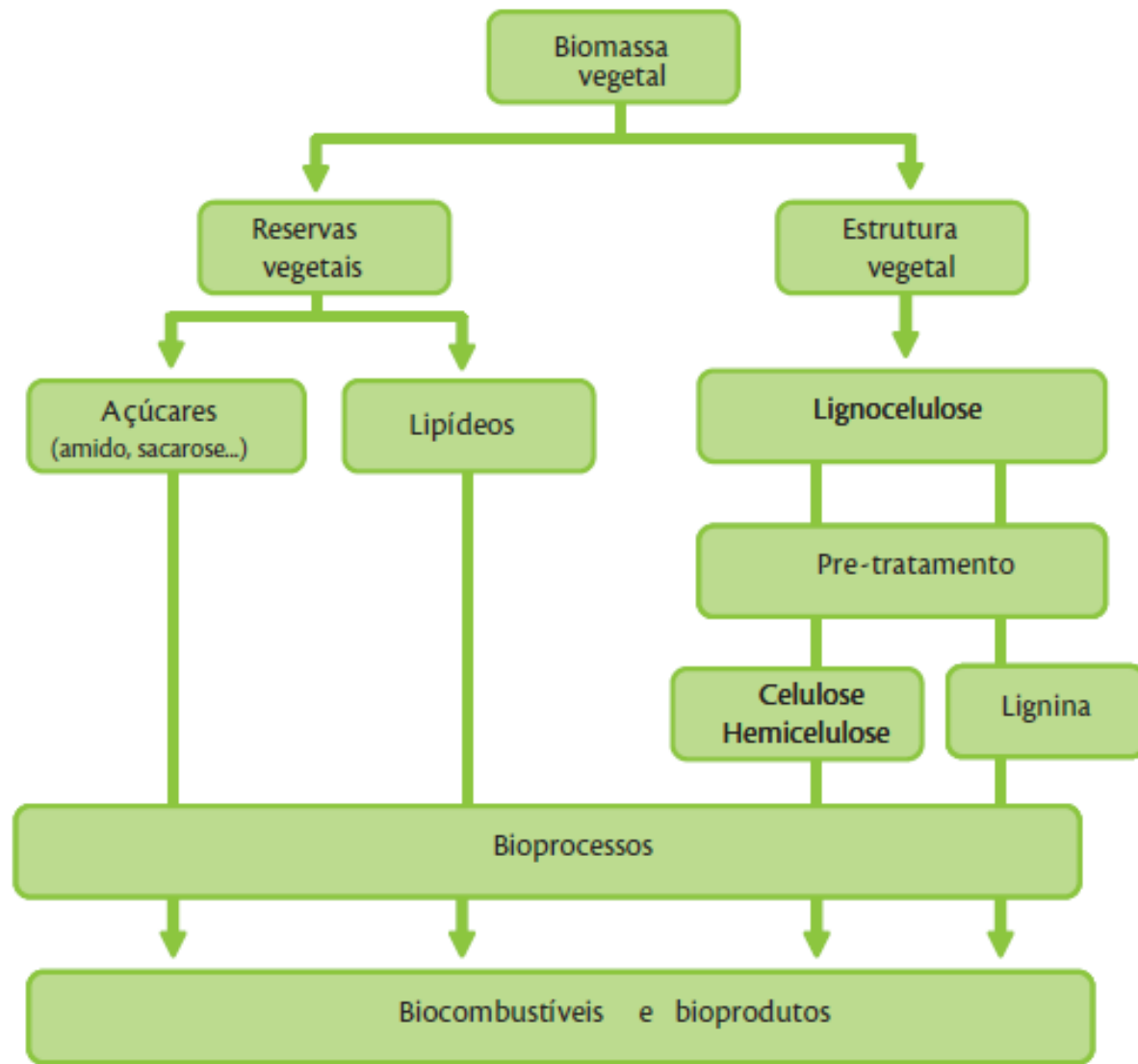
# Cadeia da bioenergia



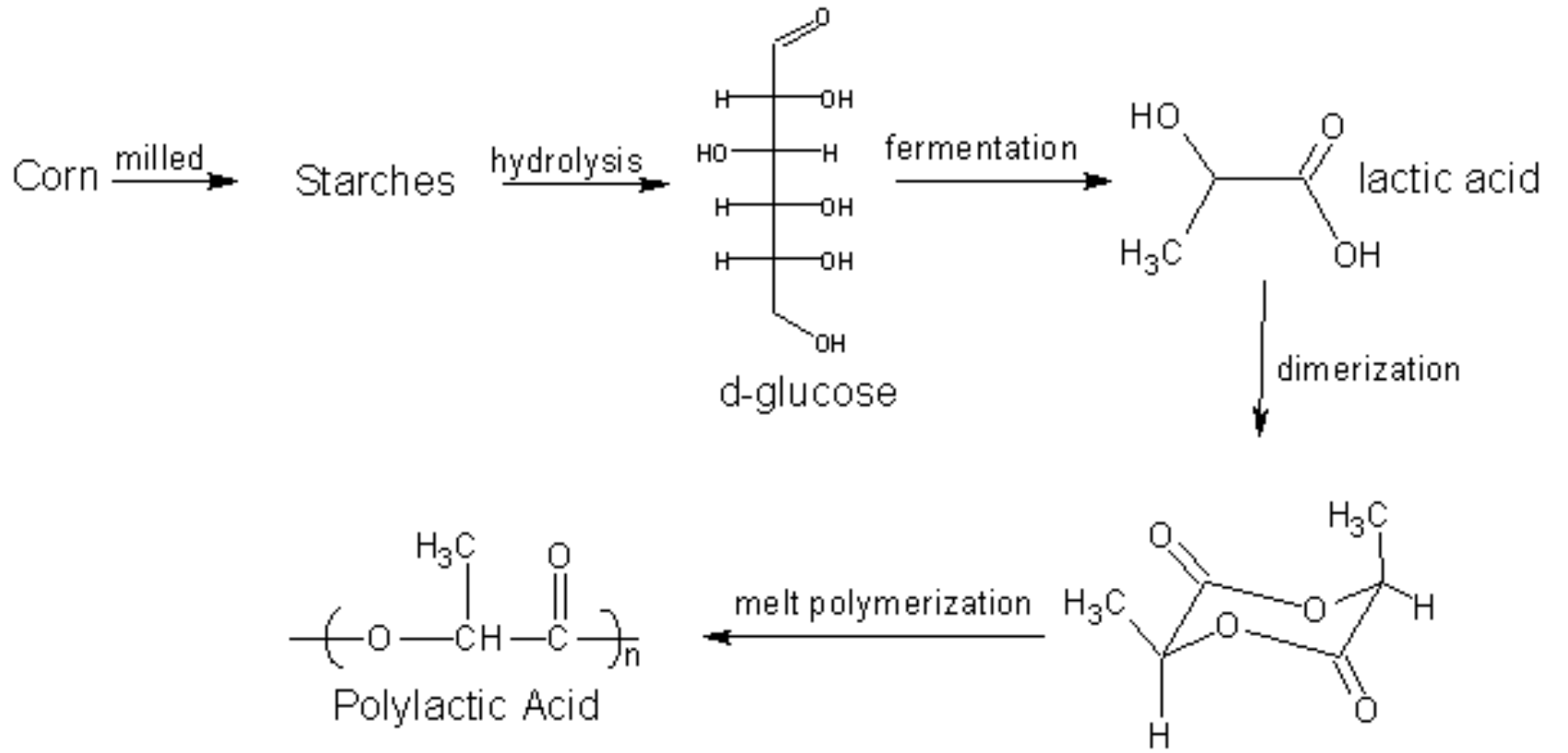
Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2003).



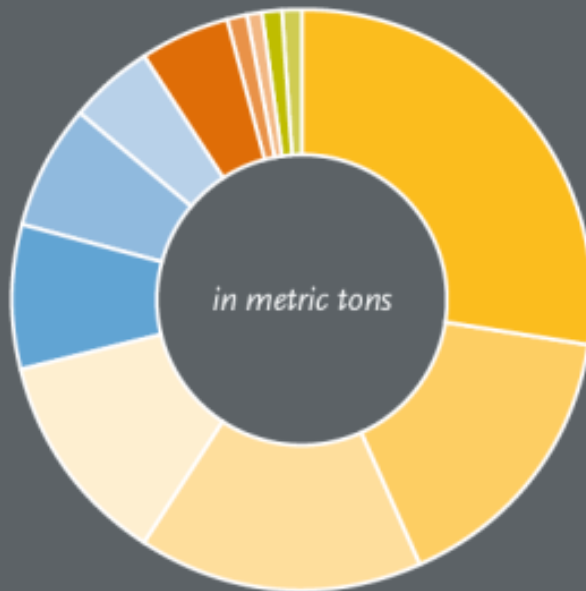
# Cadeia da biomassa



# NatureWorks PLA – polímeros a partir de milho



- PLA can be recycled (converted back to monomer via hydrolysis, then repolymerized to produce virgin polymer) i.e. closed loop recycling;
- PLA can be composted (biodegradable), complete degradation occurs in a few weeks under normal composting conditions.



Bio-PE	200.000	28 %
Biodegradable Starch Blends	117.800	16 %
PLA	112.500	15 %
PHA	88.100	12 %
Biodegradable Polyesters	56.500	8 %
Bio-PET	50.000	7 %
Regenerated Cellulose <sup>2</sup>	36.000	5 %
Bio-PA	35.000	5 %
Cellulose Derivatives <sup>1</sup>	8.000	1 %
PLA-Blends	8.000	1 %
Durable Starch-Blends	5.100	1 %
Others	7.500	1 %
<b>Total</b>	<b>724.500</b>	<b>100 %</b>

<sup>1</sup> only cellulose ester | <sup>2</sup> only hydrated cellulose foils

*Biopolymers production  
capacity 2010 by type*

## Production capacity for bio-based plastics in 2009

	[kt/yr]
Cellulose plastics (of which at least 1/3 fully bio-based)	4 000
Partially bio-based thermosets	1 000
Partially bio-based starch plastics	323
Polylactic acid (PLA)	229
Ethylene from bio-based ethanol	200
Polyhydroxyalkanoates (PHA)	80
PUR from bio-based polyol	13
Partially bio-based PTT	10
Bio-based monomers	10
Bio-based Polyamide (PA)	5
<b>Total</b>	<b>5 870</b>

\* fully bio-based unless otherwise stated

Source: Shen et al, 2009

# Renewable Energy in Industrial Applications - An assessment of the 2050 potential

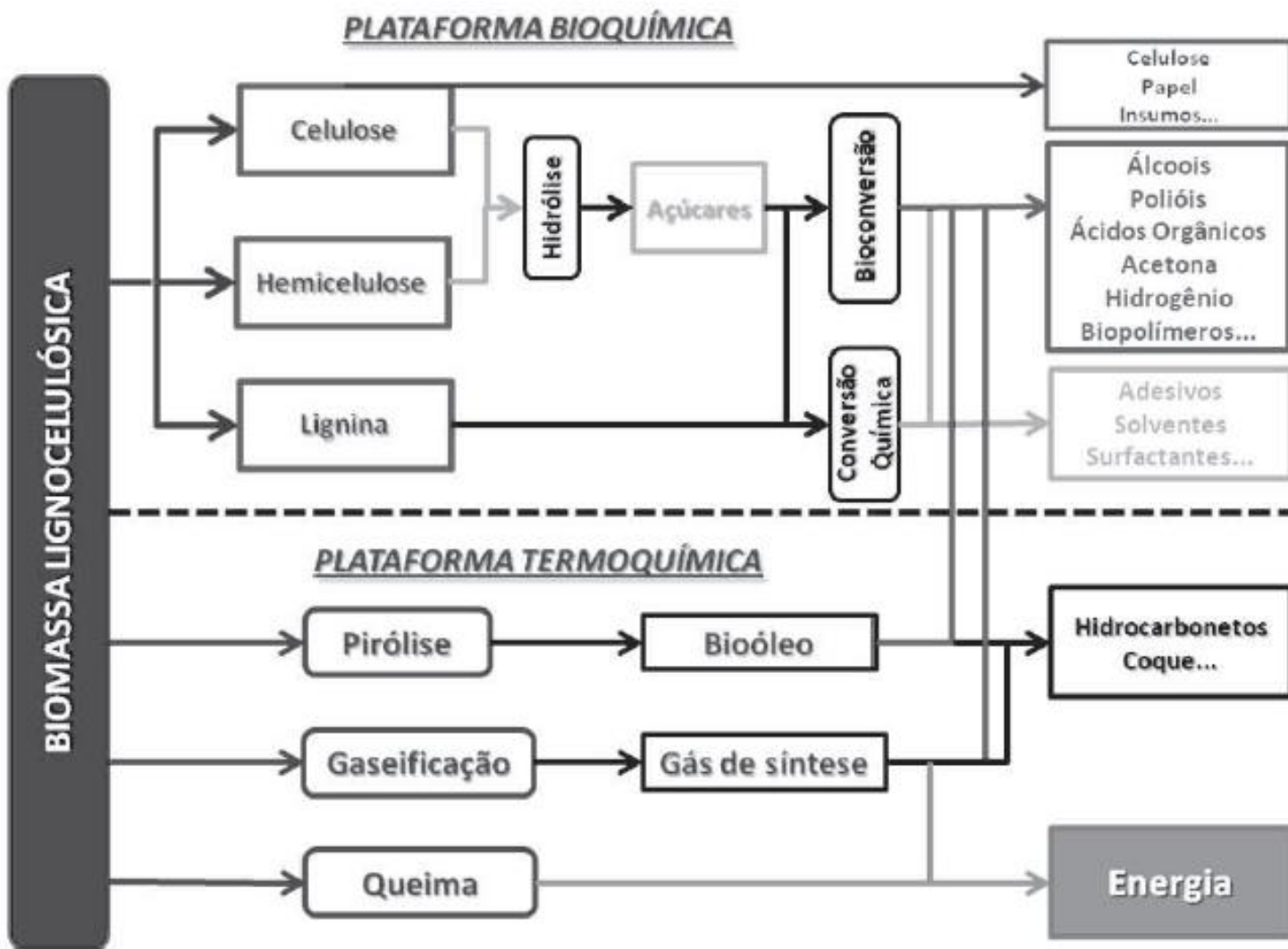
UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

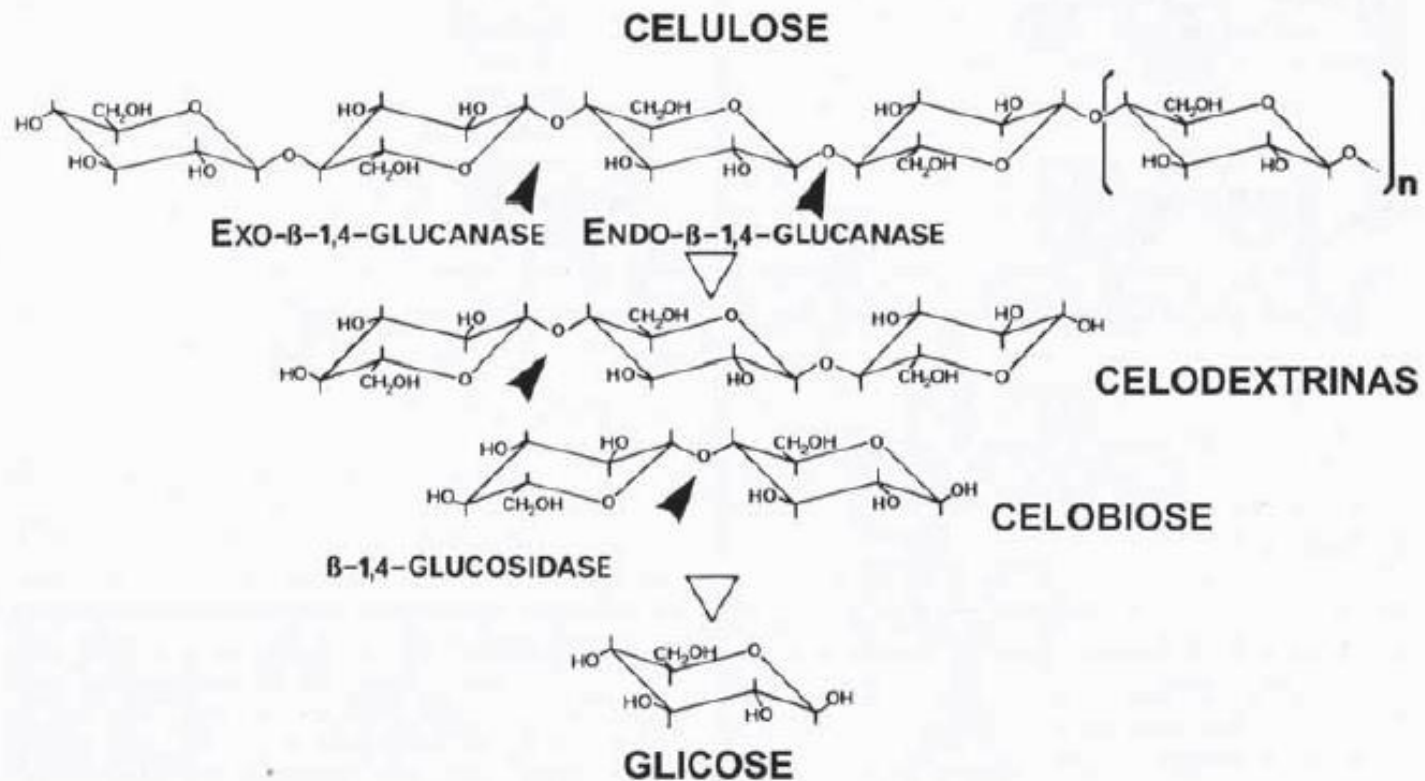
# Pacto Nacional da Indústria Química

As oportunidades de investimento na indústria química ao longo do período entre 2010 e 2020 foram projetadas com base em dados de 2008 e segmentadas em quatro blocos:

- Crescimento econômico, que impulsiona a demanda de produtos químicos.
- Recuperação do déficit comercial de produtos químicos.
- **Desenvolvimento de uma indústria química de base renovável.**
- Aproveitamento químico das oportunidades oferecidas pela exploração do pré-sal.



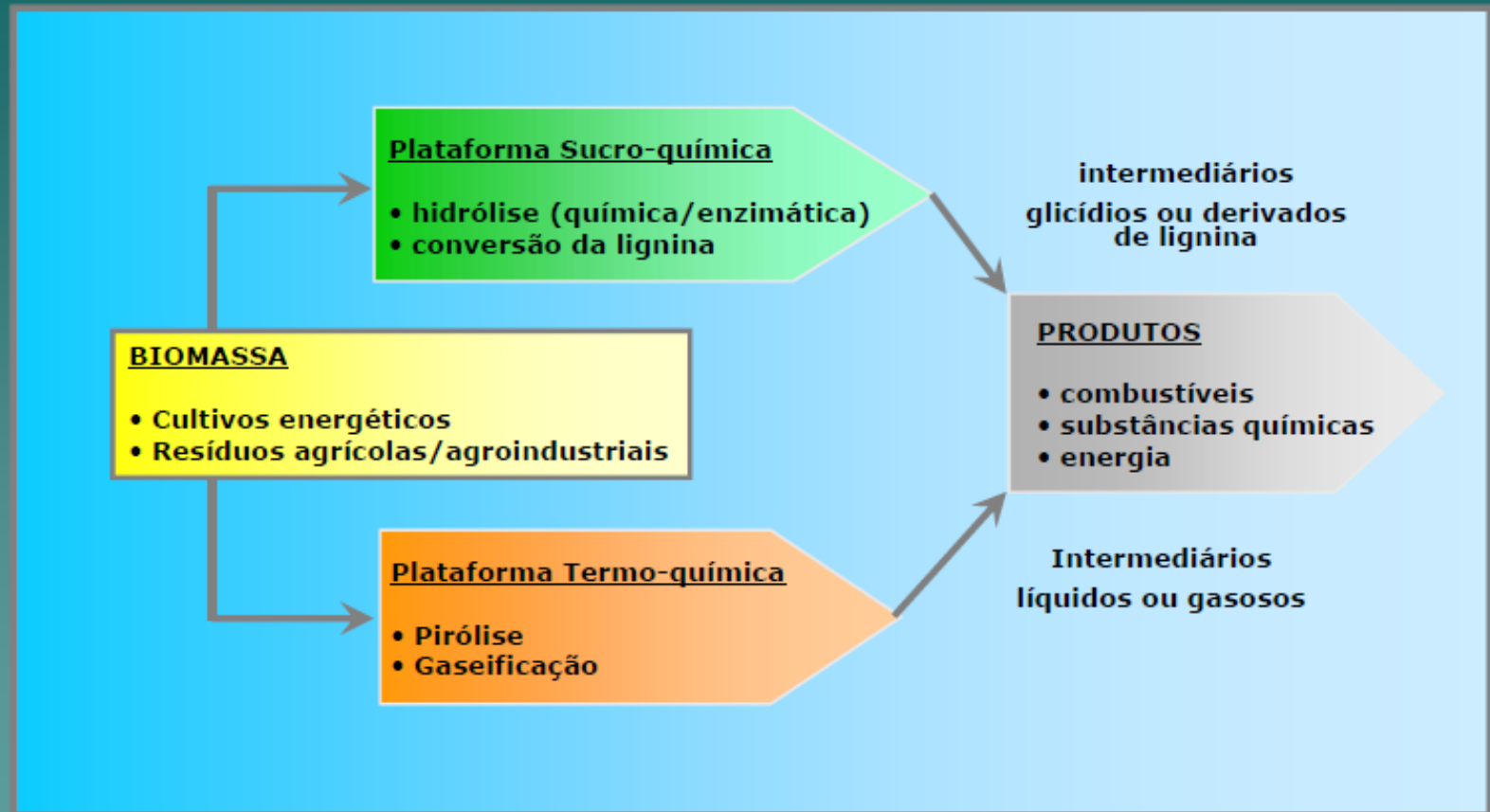




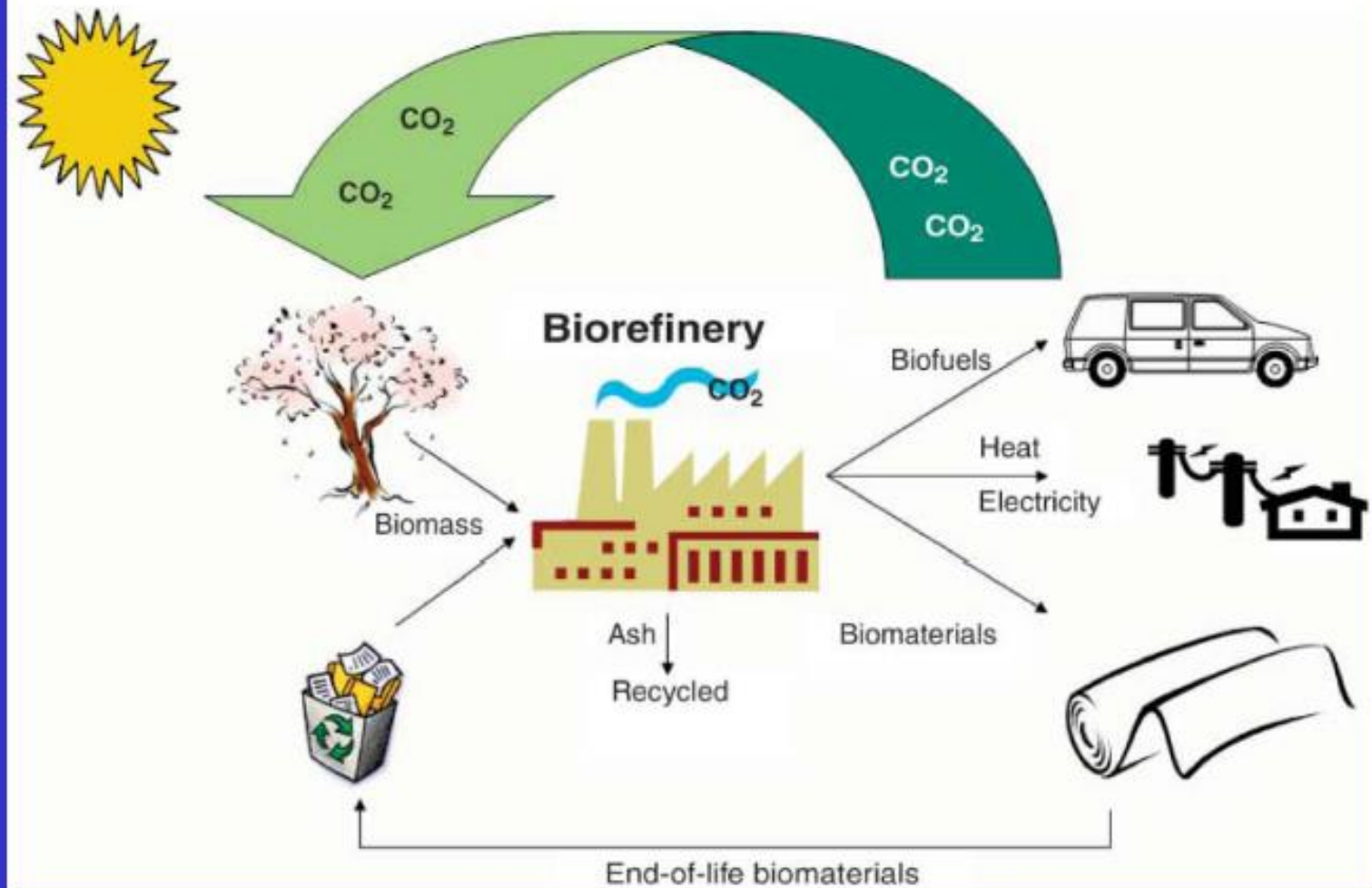
**Figura 1.8:** Enzimas envolvidas na hidrólise da celulose

Fonte: Malburg et al. ; 1992.

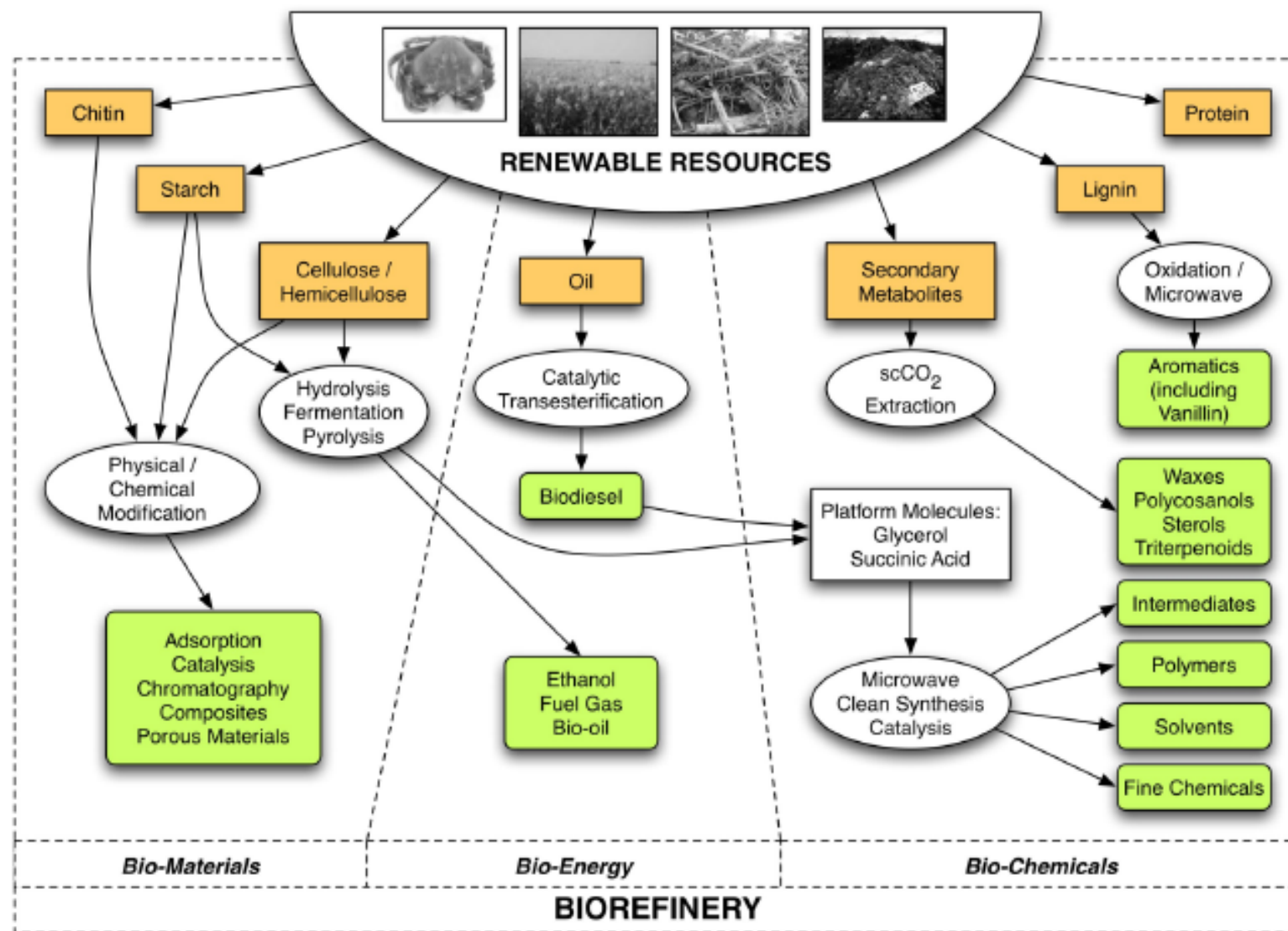
## O Conceito de Biorrefinaria

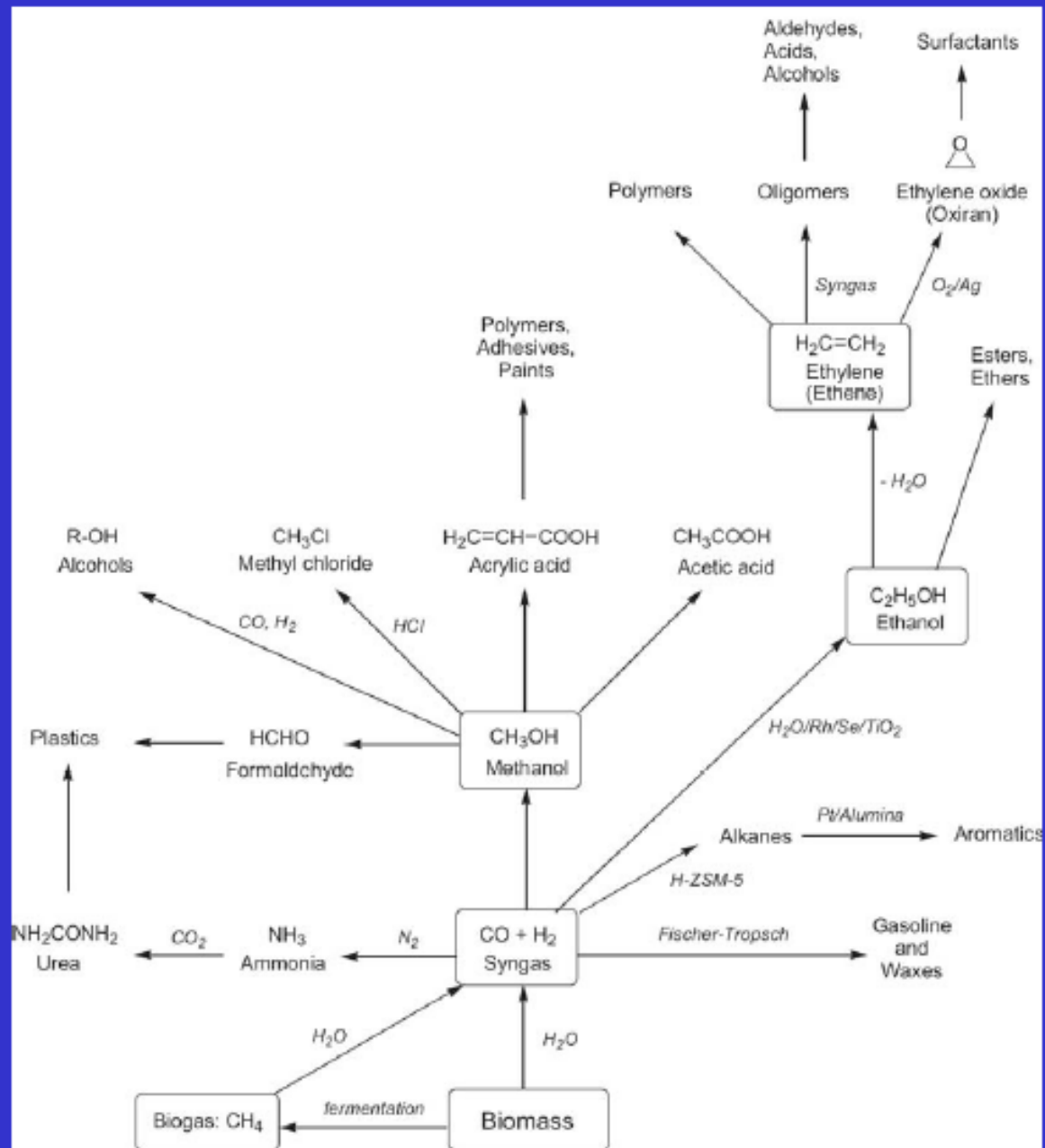


Fonte: PEREIRA JR (2005)

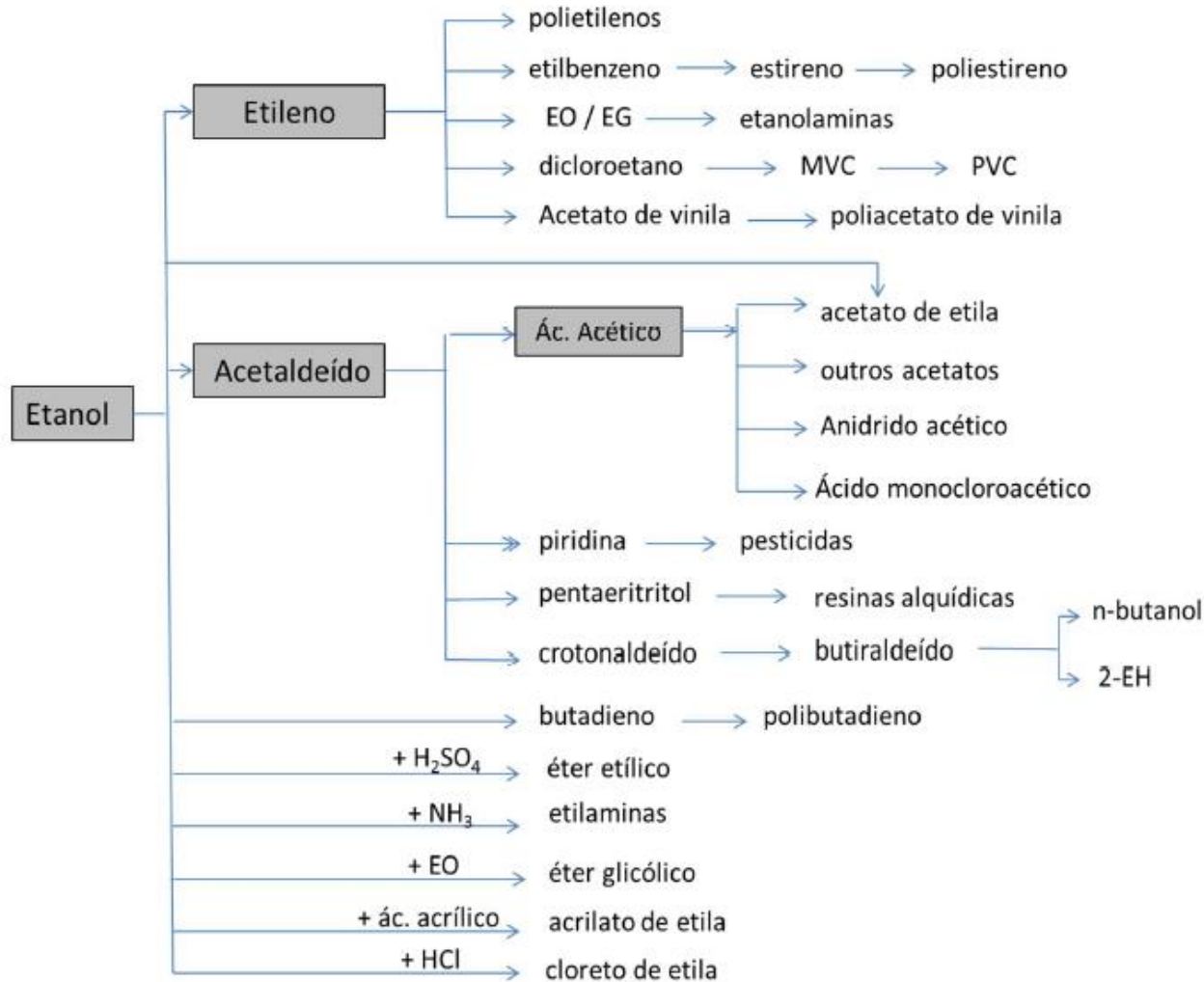


Arthur J. Ragauskas, *et al.*, *Science* 311, 484 (2006)

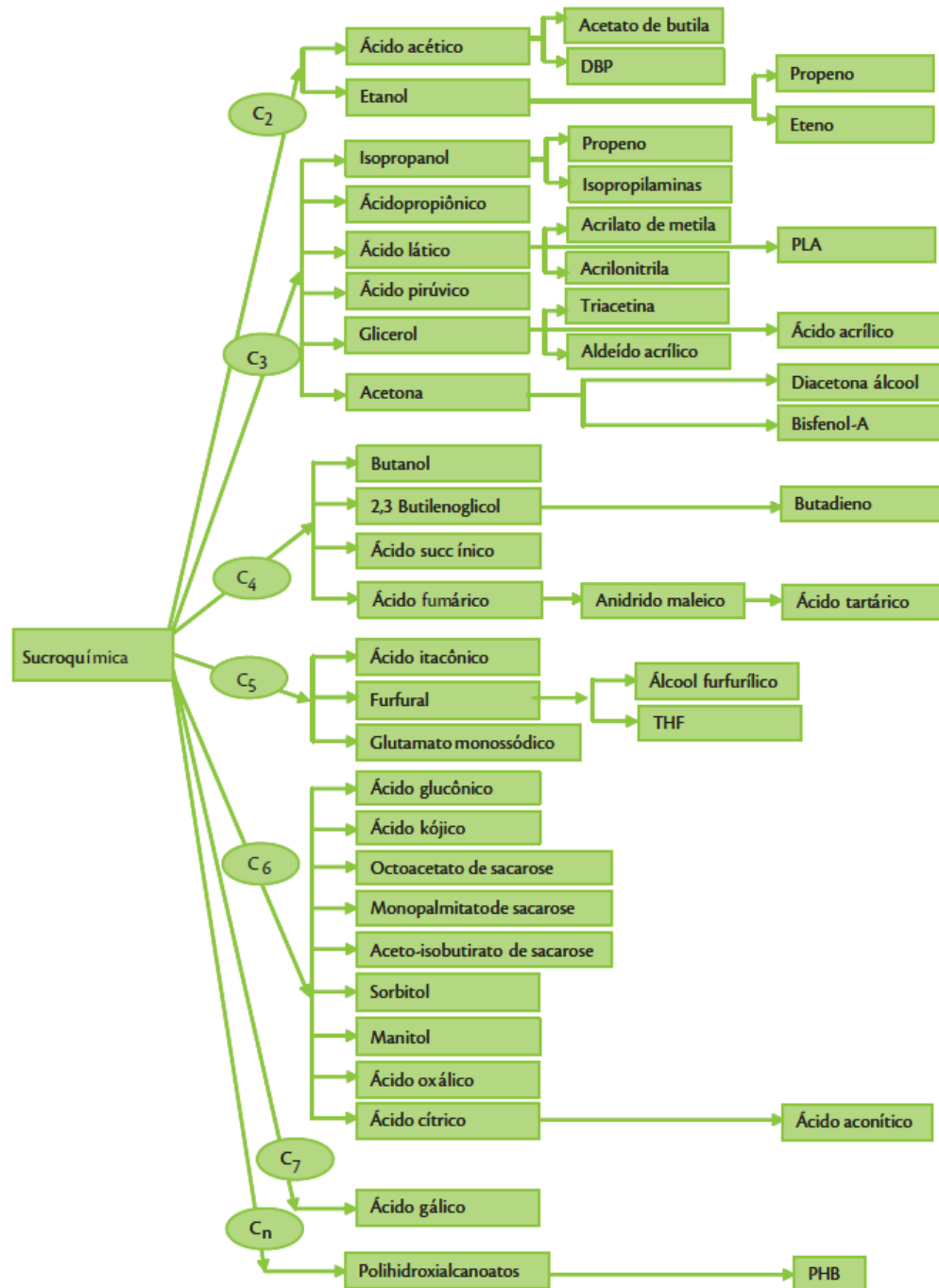




# Possíveis produtos alcoolquímicos









# Gliceroquímica

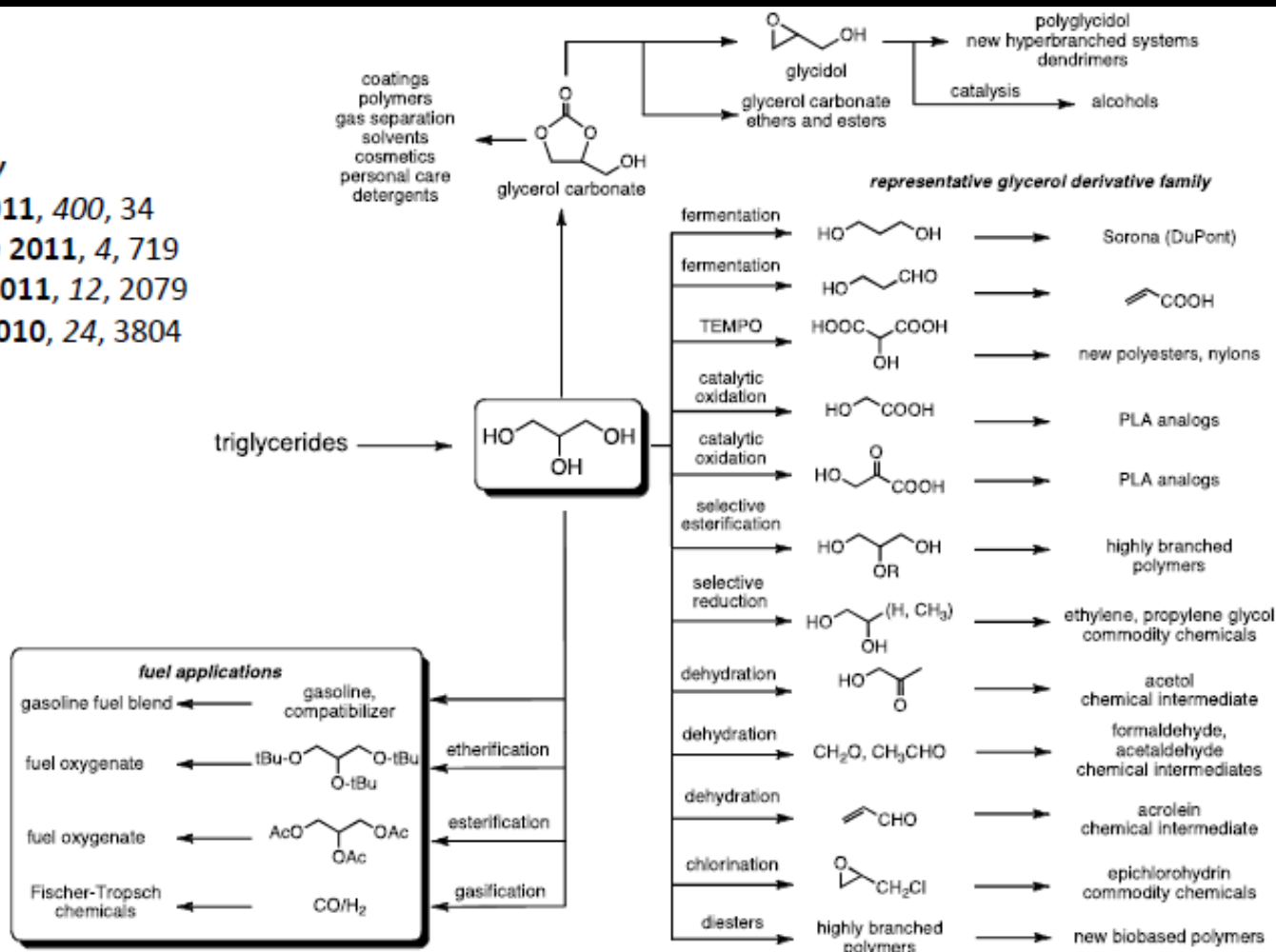
## Recent activity

*Appl. Cat. A* **2011**, 400, 34

*ChemSusChem* **2011**, 4, 719

*Green Chem.* **2011**, 12, 2079

*Energy Fuels* **2010**, 24, 3804



# Cadeia da Oleoquímica



Quadro 10.2. Importação e oferta de óleos vegetais, 2009 (mil toneladas)

Produto	Produção	Importação	Oferta	Participação (%)
Óleo de soja	6.258	90	6.348	73,3
Sebo e gordura animal	598	6	604	7,0
Banha de porco	394	0	394	4,6
Óleo de palma	215	143	358	4,1
Óleo de algodão	278	0	278	3,2
Óleo de girassol	50	20	70	0,8
Óleo de colza	59	9	68	0,8
Óleo de mamona	56	8	64	0,7
Outros óleos vegetais	366	106	472	5,5
<b>Total</b>	<b>8.274</b>	<b>382</b>	<b>8.656</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Abiove, 2009.

# Aplicações do CO<sub>2</sub> para produtos químicos

## Intermediários químicos:

- C(O)O-: ácidos, ésteres e lactonas
- O-C(O)O-: carbonatos
- NC(O)OR-: ésteres carbâmicos
- NCO: isocianatos
- N-C(O)-N: uréias

## Uso como solvente

## Geração de energia

CO

CH<sub>3</sub>OH

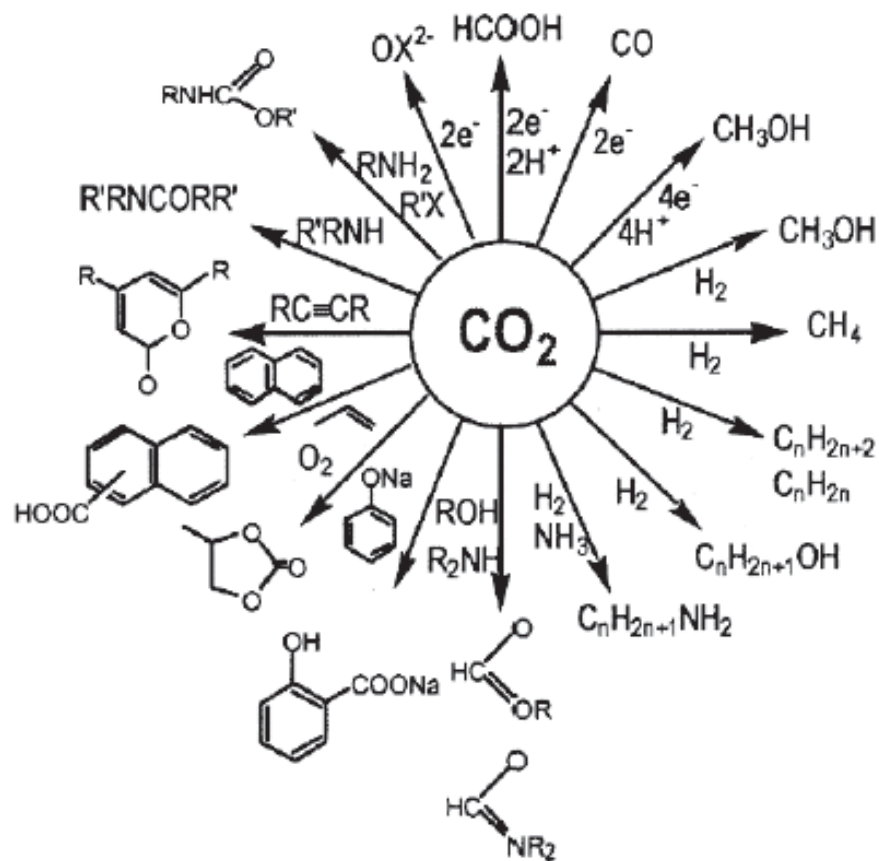


Figura 6.1: Utilização de CO<sub>2</sub> em sínteses químicas

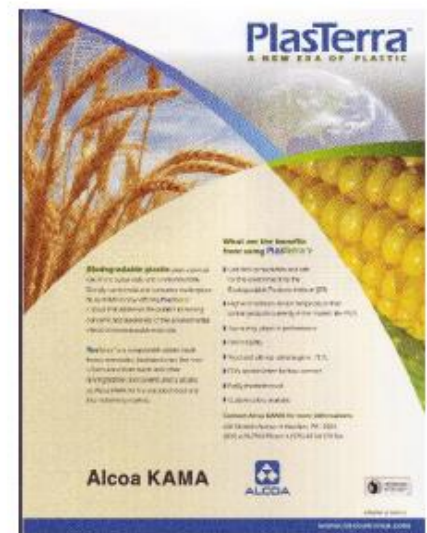
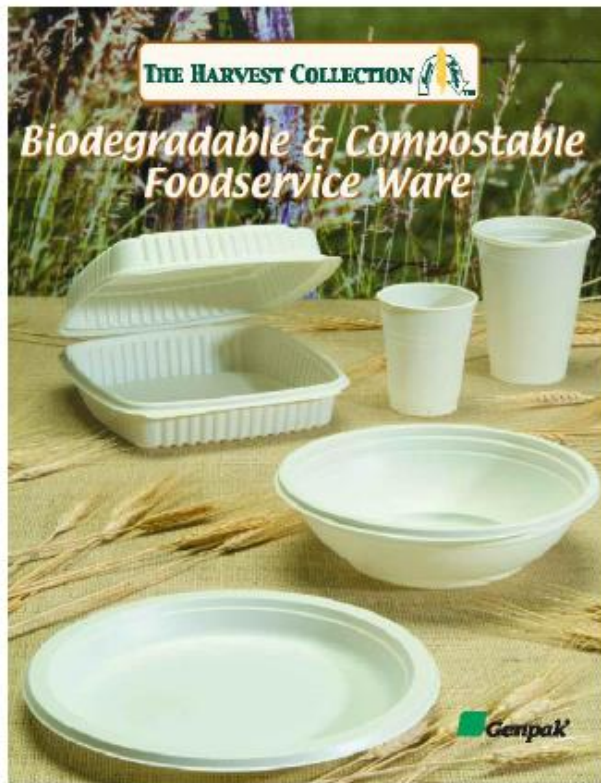
Fonte: Aresta, 1998<sup>28</sup>.



FIGURE 4. COMPETING TERMINOLOGY "100% COMPOSTABLE BAG," "100% COMPOSTABLE," "100% BIODEGRADABLE," "BIODEGRADABLE PLASTIC."



- Componentes plásticos em embalagens, suportes, alças, lacres, sachês, capas protetoras, acabamentos, entre outros, para os setores alimentício, automotivo, químico, cosmético, hospitalar, de informática e utensílios domésticos; principalmente os descartáveis



# Commercial Applications for Biodegradable/ Compostable Plastics



Trash Can Liners



Paper Coating



"2 in 1" Shopping Bags



Shrink Films



Mulch Films



Food Packaging



Netting



Packaging



## BASF Biodegradable Plastics Overview

Lignin (the woody tissues of plants) can also be used as a food source for PHA production.





# Fungo na disputa

## Surge mais uma alternativa aos plásticos expandidos: cogumelos

**EMBALAGEMMARCA** é  
uma publicação mensal da  
Bloco de Comunicação Ltda.  
Rua Arcílio Martins, 53  
CEP 04718-040  
São Paulo, SP  
Tel.: (11) 5181-6533  
Fax: (11) 5182-9463  
[www.embalagemmarca.com.br](http://www.embalagemmarca.com.br)

**F**undada por dois ex-alunos do Instituto Politécnico Rensselaer, de Nova York, a Ecovative Design tem feito barulho no noticiário científico por causa do Mycobond, um material de fonte natural desenvolvido como alternativa para a produção de embalagens e acolchoamentos em plástico expandido. O material não se baseia na agricultura tradicional nem depende de técnicas complexas de polimerização. É, simplesmente, uma cultura de cogumelos.

Comercializadas sob a marca EcoCradle, as embalagens de Mycobond dispensam o uso (e os custos) do ferramental tradicional. Cultivados a partir de resíduos agrícolas, como cascas de sementes de algodão ou trigo, os cogumelos vão se conformando a moldes plásticos – reutilizáveis – à medida que se desenvolvem. A cultura dos fungos é feita em ambiente escuro e com umida-

de controlada (*ver quadro*).

A Ecovative Design utiliza a mesma tecnologia para a produção de isolantes térmicos residenciais e garante que os cogumelos são inofensivos – podem até ser ingeridos, mas têm gosto amargo. A empresa afirma que a produção das embalagens EcoCradle consome um oitavo da energia e emite um décimo do dióxido de carbono quando comparada às das de plástico de origem fóssil. Após o uso, as embalagens podem ser descartadas em jardins ou canteiros de compostagem, transformando-se rapidamente em adubo. O material é suscetível à compostagem anaeróbica, ou seja, não necessita de oxigênio para se decompor. (GK)



Peças de cogumelo  
diminuem emissão de CO2  
no transporte de produtos

**Ecovative Design**  
[www.ecovativdesign.com](http://www.ecovativdesign.com)



Esporos são colocados  
em refugos agrícolas  
no interior de um molde



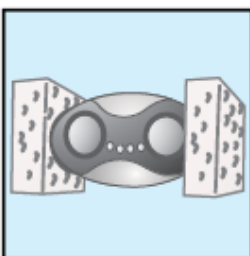
O material é regado  
e armazenado em  
ambiente escuro



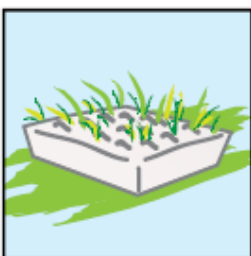
Os cogumelos crescem  
conformando-se aos  
moldes, de plástico



Depois de duas  
semanas as peças  
ficam prontas



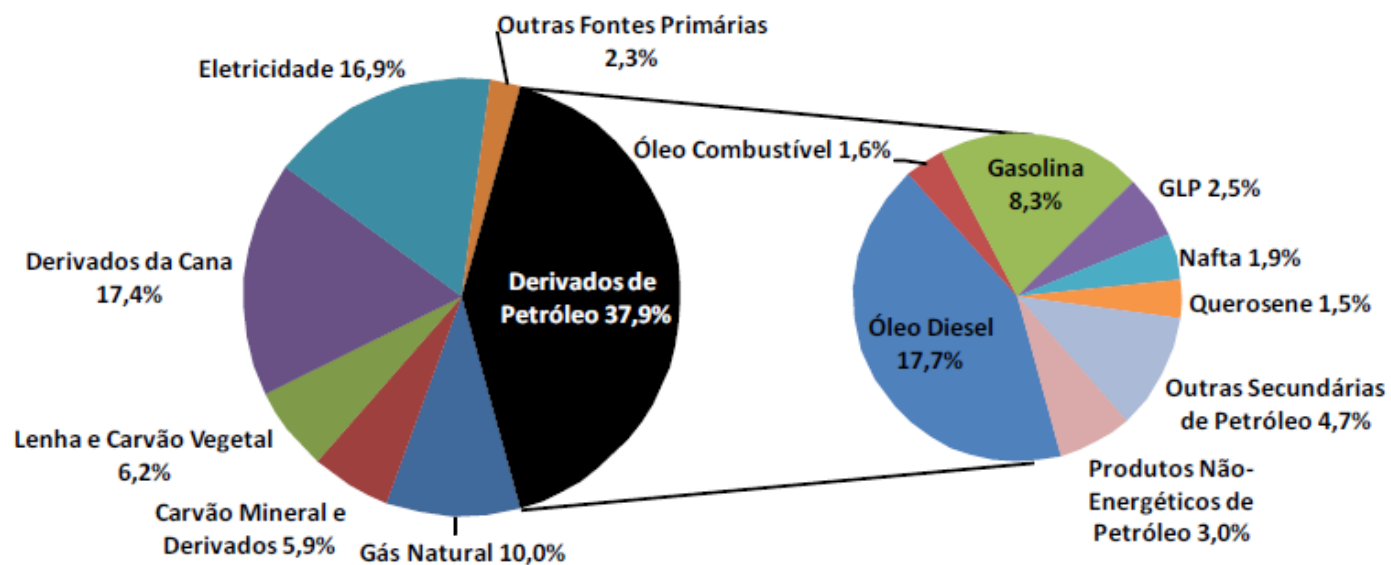
Maleável, o material  
protege produtos no  
transporte



Após o uso, pode  
ser compostado ou  
descartado em jardins

ILUSTRAÇÃO: JORGE H.L.F.S.

Gráfico 17 – Participação das Fontes no Consumo Final de Energia em 2022



\* Inclui consumo não-energético  
Fonte: EPE

	Brasil	Rússia	Índia	China
<b>Colocação Geral (Ranking de Competitividade)</b>	56°	64°	60°	29°
<b>Colocação no Ranking de Infraestrutura</b>	71°	45°	85°	48°
Qualidade geral da infraestrutura	114°	93°	85°	74°
Qualidade das rodovias	120°	136°	84°	54°
Qualidade das estradas de ferro	103°	31°	19°	20°
Qualidade dos portos	131°	88°	70°	59°
Qualidade dos transportes aéreos	123°	102°	61°	65°
Qualidade da oferta de energia elétrica	76°	83°	111°	67°

Fonte: Global Competitiveness Report 2013-2014



# Tendências

- A utilização de matérias primas renováveis deverá ter peso importante na indústria do século XXI;

Restrições ambientais ao uso de matérias primas fósseis;

- A perspectiva da inovação tecnológica como saída de crise.



- **A importância da biodiversidade brasileira na biologia** - maior utilização das biomassas, seja na preparação e produção de matérias-primas ou nas tecnologias de conversão. Novos conhecimentos baseados em **engenharia genética, novos processos fermentativos e enzimáticos** estarão crescentemente disponíveis.
- **A importância do agronegócio brasileiro para a economia nacional** - que se passe nas próximas décadas de uma economia de exportação de matérias-primas para **uma economia de produtos de alto valor agregado**.
- **Os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis e as conseqüentes mudanças climáticas** - necessário evoluir rapidamente para uma **economia baseada no uso de biomassa; que gerará emprego e renda**, promovendo de forma estratégica o desenvolvimento rural e diminuindo a evasão de divisas.
- **A necessidade de integração dos esforços acadêmicos com a indústria química nacional** - incrementar a inovação como fator determinante da promoção de um desenvolvimento sustentável, por meio de esforços de **integração empresa-universidade**.

# THE FUTURE CHEMICAL INDUSTRY

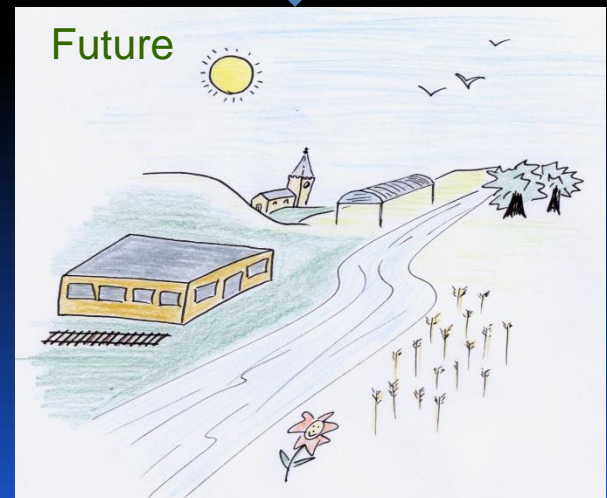
Past



Present



Future





# RECURSOS RENOVÁVEIS

**ESTEVÃO FREIRE**

[estevao@eq.ufrj.br](mailto:estevao@eq.ufrj.br)

DEPARTAMENTO DE PROCESSOS ORGÂNICOS  
ESCOLA DE QUÍMICA - UFRJ